

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO  
Programa de Posgrado en Diseño y Desarrollo de Productos

**“AutoBioGen: Automatización de un biodigestor de cinco propósitos: aplicación al proceso de climatización, combustible para una estufa doméstica, producción de energía eléctrica, reciclaje del agua residual y generación de fertilizante en una casa habitación para cuatro personas”**

**Javier Aguirre Contreras**

Tesis para optar por el  
**Doctorado en Diseño**  
**Posgrado en Diseño y Desarrollo de Productos**

Miembros del jurado:

**Dr. Miguel Arzate Pérez**  
*Director de la tesis*

**Dr. José Roberto García Chávez**  
*Co-Director de la tesis*

**Dr. Gustavo Iván Garmendia Ramírez**  
**Dr. Fernando Minaya Hernández**  
**Dr. Rodrigo Ramírez Ramírez**

Ciudad de México  
Febrero de 2019

<b>Contenido</b>	<b>pág.</b>
Siglas y acrónimos .....	7
Abreviaturas y símbolos .....	8
Elementos y compuestos químicos.....	9
Resumen .....	10
Introducción .....	12
Estructura metodológica.....	18
Capítulo I Desechos Orgánicos, metano (CH <sub>4</sub> ) .....	28
1.1 Cambio climático (CC) .....	30
1.2 Legislación y definiciones .....	36
1.3 Producción de CH <sub>4</sub> como desecho a la atmósfera .....	37
1.4 Consecuencias de la emisión de CH <sub>4</sub> .....	45
Capítulo II La biodigestión.....	48
2.1 Historia de la biodigestión anaerobia.....	50
2.2 Componentes y clasificación de biodigestores .....	51
2.3 Principales biodigestores en el Mundo y en México.....	58
2.4 Beneficios de un biodigestor .....	62
Capítulo III AutoBioGen.....	63
3.1 Descripción y funcionamiento del AutoBioGen.....	64
3.1.1 Características técnicas del AutoBioGen para una casa de cuatro personas: .....	72
3.2 Construcción del AutoBioGen .....	73
3.2.1 Localización de la casa donde se instaló el AutoBioGen.....	74
3.2.2 Características ambientales de la zona donde será instalado el AutoBioGen.....	77
3.2.3 Tamaño de muestra.....	78
3.2.4 Implementación del AutoBioGen en la casa .....	79
3.3 Experimentación con el AutoBioGen construido .....	90
3.3.2 Cantidad de CH <sub>4</sub> producido .....	92
3.4 Resultados de la implementación del AutoBioGen.....	93
3.4.1 Climatización de la casa por medio del AutoBioGen .....	94
3.4.2 Instalación de tubería para el CH <sub>4</sub> generado por el AutoBioGen en la casa .....	97
3.4.3 Autoconsumo de la energía generada por el AutoBioGen en la casa .....	100
3.4.4 Biofertilizante o abono orgánico .....	103
3.4.5 Reciclaje del agua residual.....	105
3.4.6 Monitoreo automatizado de variable CH <sub>4</sub> .....	108
3.5 Consideraciones de manejo y mantenimiento sobre el AutoBioGen .....	109
Capítulo IV Resultados.....	110

4.1 Ambiental .....	111
4.2 Estético o visual .....	114
4.2.1 Impresión 3D .....	122
4.2.2 Rotomoldeo .....	124
4.3 Económico .....	134
Conclusiones .....	138
Fuentes consultadas .....	144
Anexos.....	150
A.1 Características técnicas de la báscula de cocina.....	151
A.1.1 Características físicas y de dieta de los sujetos de la casa habitación .....	152
A.2 Planos del AutoBioGen construido (Archivo electrónico).....	157
A.3 Características técnicas de los termómetros digitales .....	158
A.3.1 Temperatura ambiente y temperatura dentro del AutoBioGen.....	159
A.4 Características técnicas del medidor de pH.....	162
A.5 Características técnicas del medidor de biogás marca Binder .....	163
A.5.1 Experimento de un Minibiodigestor.....	164
A.6 Producción de biogás en el AutoBioGen .....	166
A.7 Características técnicas del Multímetro .....	167
A.8 Características técnicas del medidor de sólidos y pureza del agua .....	168
A.9 Programa del Arduino Uno para la medición de alarma de biogás.....	170
A.10 Planos visuales del AutoBioGen diseñado.....	171
A.11 Características de la impresora marca FLSUN 3D Metal Frame modelo Kossel Delta.....	172
A.12 Tarifa eléctrica en la casa de San Luis Huexotla .....	173
A.13 Tipos de calefactores eléctricos .....	175
A.14 Manual de instalación y mantenimiento para el AutoBioGen.....	178
A.15 Composta con el desperdicio de frutas y verduras .....	188
Curriculum vitae.....	192

<b>Figuras</b>	<b>pág.</b>
1. Estructura metodológica. (Elaboración propia) .....	20
2. Cambio climático. (Elaboración propia con base en INECC, 2010) .....	30
3. Gases de efecto invernadero en 2010 en México. (INECC, 2010).....	39
4. Gases de efecto invernadero en 2010 en el Estado de México. (Elaboración propia con base en INECC, 2010) .....	40
5. Gas de efecto invernadero CH <sub>4</sub> . (Elaboración propia con base en INECC, 2010).....	41

6. Contribución porcentual de CH <sub>4</sub> por sector en México. (Elaboración propia con base en INECC, 2010) .....	43
7. Contribución porcentual de CH <sub>4</sub> por sector en el Estado de México. (Elaboración propia con base en Gobierno del Estado de México, 2013) .....	44
8. Consecuencias fisiológicas producidas por el CH <sub>4</sub> como GEI. (Elaboración propia con base en INECC, 2010) .....	45
9. Historia de la biodigestión. (Elaboración propia con base en Vera, 1996) .....	50
10. Biodigestor. (Elaboración propia con base en Vera, 1996) .....	51
11. Fermentación metanogénica. (Elaboración propia con base en Vera, 1996) .....	52
12. Etapas de la fermentación metanogénica. (Elaboración propia con base en Vera, 1996) .....	53
13. Factores del proceso metanogénicos. (Elaboración propia con base en Vera, 1996) .....	54
14. Clasificación del proceso de biodigestión en un biodigestor. (Elaboración propia con base en Vera, 1996) .....	55
15. Tipos de biodigestores metanogénicos. (Elaboración propia con base en Vera, 1996) .....	56
16. Componentes y clasificación de biodigestores. (Elaboración propia con base en Vera, 1996) .....	57
17. AutoBioGen. (Elaboración propia) .....	65
18. Componentes comerciales del biodigestor construido. (Elaboración propia) .....	67
19. Pasos a seguir para la generación de biogás, reciclaje de agua y climatización. (Elaboración propia) .....	68
20. Excremento generado durante 45 días por cada sujeto que habita la casa. (Elaboración propia) .....	70
21. Localización de la casa habitación de cuatro personas. ( <i>Google earth</i> , 2015) .....	74
22. Casa habitación de cuatro personas. ( <i>Google earth</i> , 2015) .....	75
23. Lugar y medidas donde se instaló el AutoBioGen. (Elaboración propia) .....	75
24. Plano de la casa habitación de cuatro personas. (Elaboración propia) .....	76
25. Localización del AutoBioGen. (Elaboración propia) .....	77
26. Antes y después de limpiar el lugar donde se colocó el AutoBioGen. (Elaboración propia) .....	80
27. Antes y después del foso donde se colocó el AutoBioGen. (Elaboración propia) .....	81
28. Trampa de sólidos y agua jabonosa. (Elaboración propia) .....	82
29. Construcción e implementación de la cámara de fermentación del AutoBioGen. (Elaboración propia) .....	83
30. Contenedor de excremento ya fermentado. (Elaboración propia) .....	85
31. Filtro de biogás. (Elaboración propia) .....	86
32. Filtro de agua. (Elaboración propia) .....	87
33. Etapas de conexión del AutoBioGen. (Elaboración propia) .....	88
34. Cantidad de CH <sub>4</sub> generado durante 45 días por los cuatro sujetos. (Elaboración propia) .....	93
35. Conexión del zoclo térmico con el contenedor de excremento: a) Zoclo térmico y b) Contenedor de	



excremento unido al zoclo térmico. (Elaboración propia) .....	94
36. Climatización de la casa. (Elaboración propia) .....	97
37. Indicación del flujo de CH <sub>4</sub> en la casa. (Elaboración propia) .....	98
38. Efecto Seebeck y efecto peltier. (Elaboración propia con base en UNAM, 2007).....	100
39. Localización de las placas peltier en la manguera de PVC. (Elaboración propia) .....	101
40. Fertilizante o bioabono. (Elaboración propia con base en Gestión de la Calidad y BPA, 2013) .....	103
41. Pasos para producir abono. (Elaboración propia) .....	104
42. Pasos para construir el filtro de agua. (Elaboración propia) .....	106
43. Conexión de alarma de CH <sub>4</sub> por medio de un Arduino Uno. (Elaboración propia) .....	108
44. Emisiones de CH <sub>4</sub> y su equivalente de CO <sub>2</sub> eq, que se dejarían de emitir si se instalara el AutoBioGen en una casa, en el municipio de Texcoco y en el Estado de México. (Elaboración propia) .....	113
45. Ensamble general del AutoBioGen. (Elaboración propia) .....	115
46. Componentes del sub-ensamble contenedor de excremento. (Elaboración propia) .....	116
47. Pieza cilindro con capacidad de 300 litros. (Elaboración propia) .....	117
48. Pieza caja perforada. (Elaboración propia) .....	117
49. Pieza agitador. (Elaboración propia) .....	117
50. Pieza tapa del cilindro con capacidad de 300 litros. (Elaboración propia) .....	118
51. Pieza tapa de las cajas del cilindro con capacidad de 300 litros. (Elaboración propia) .....	118
52. Componentes del sub-ensamble depósito de agua reciclada. (Elaboración propia) .....	119
53. Pieza cilindro con capacidad de 58 litros. (Elaboración propia) .....	119
54. Pieza caja removible. (Elaboración propia) .....	120
55. Pieza tapa del cilindro con capacidad de 58 litros. (Elaboración propia) .....	120
56. Pieza tapa de la caja del cilindro con capacidad de 58 litros. (Elaboración propia) .....	120
57. Componentes del sub-ensamble filtro de biogás. (Elaboración propia) .....	121
58. Pieza caja con orificios. (Elaboración propia) .....	121
59. Pieza tapa de caja con orificios. (Elaboración propia) .....	122
60. Impresión 3D de sub-ensambles del AutoBioGen escala 1:7.5. (Elaboración propia) .....	123
61. Rotomoldeo. (Elaboración propia basado en Rodríguez, 2009) .....	124
62. Proyecciones del ahorro monetario de GLP por medio del AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia) .....	134
63. Proyecciones del ahorro monetario en energía eléctrica por medio del AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia) .....	135
64. Proyecciones del ahorro monetario en energía eléctrica al sustituir el calefactor eléctrico por el AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia) .....	136
65. Proyecciones del ahorro monetario en 15 años de GLP y no colocar el calefactor eléctrico, si se utilizara el AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia) .....	137

## Tablas

pág.

1. Cantidad de CH <sub>4</sub> emitidos a la atmósfera en 2010 en México por sector. (INECC, 2010).....	42
2. Cantidad de CH <sub>4</sub> emitidos a la atmósfera en 2010 por sector y subsector en el Estado de México. (Gobierno del Estado de México, 2013).....	44
3. GEI considerados por el Protocolo de Kioto. (INECC, 2010). ....	46
4. Estados seleccionados en la definición de la muestra modificada. (SAGARPA, 2012).....	59
5. Características físicas y excremento generado cada cinco días durante 45 días por cada sujeto que habita la casa. (Elaboración propia) .....	69
6. Velocidad de generación de gas de acuerdo a los días de fermentación. (Herrero, 2008) .....	71
7. Tiempo de retención del excremento humano, según la temperatura. (Herrero, 2008).....	71
8. Flora y fauna localizada en San Luis Huexotla y en la casa en cuestión. (Sistema Nacional de Información Municipal, 2013).....	77
9. Tamaño de la muestra de la casa. (Elaboración propia). ....	78
10. Costos del AutoBioGen construido 2015. (Elaboración propia).....	79
11. Parámetros a evaluar y métodos a emplear. (Cerrato, <i>et. al.</i> , 2010).....	91
12. Mediciones de parámetros. (Elaboración propia basado en Laboratorios Jenner; 2015) .....	91
13. CH <sub>4</sub> generado durante 45 días por los cuatro sujetos. (Elaboración propia) .....	92
14. Temperatura en el AutoBioGen. (Elaboración propia).....	95
15. Generación de electricidad. (Elaboración propia).....	102
16. Emisiones de CH <sub>4</sub> y su equivalente de CO <sub>2eq</sub> que se dejarían de emitir si se instalara el AutoBioGen, en una casa, en el municipio de Texcoco y en el Estado de México. (Elaboración propia) .....	112
17. Proyecciones del ahorro monetario de GLP por medio del AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia) .....	134
18. Proyecciones del ahorro monetario en energía eléctrica por medio del AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia) .....	135
19. Proyecciones del ahorro monetario en energía eléctrica al sustituir el calefactor eléctrico por el AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia) .....	136

## **Siglas y acrónimos**

BFC	biodigestor de flujo continuo
BFD	biodigestor de flujo discontinuo
BRICS	Brasil, Rusia, India China y Sudáfrica
BTU	British Thermal Unit
CC	cambio climático
CER	Certificado de Emisiones Reducidas
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CINVESTAV	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COLPOS	Colegio de Postgraduados
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
DAC	Diseño Asistido por Computadora
DCA	Diseño Completamente al Azar
EPA	Environmental Protection Agency
GEI	gases de efecto invernadero
GLP	gas licuado de petróleo
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFONAVIT	Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
FOVISSTE	Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicio Social de los Trabajadores del Estado
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IP	Iniciativa Privada
IPN	Instituto Politécnico Nacional
LCD	Liquid Cristal Display
LGEEPA	Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PLC	Programmable Logic Controller
PROFECO	Procuraduría Federal del Consumidor
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaria de Energía
UACH	Universidad Autónoma Chapingo
UASB	UpFlow Anaerobic Sludge Blanket
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USB	Universal Serial Bus
UVM	Universidad del Valle de México

### **Abreviaturas y símbolos**

A	amper
°C	grados Centígrados
c.p.	código postal
ca	corriente alterna
cc	corriente continúa
cm	centímetros
CPVC	policloruro de vinilo clorado
EE. UU.	Estados Unidos
°F	grados Fahrenheit
FC	factor de conducción
g	gramos
Gg	Gigagramos
HR	humedad relativa
kg	kilogramo
km	kilómetro
km <sup>2</sup>	kilómetro cuadrado
kWh	kilowatt-hora
l	litro
m	metro
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
min	minutos
ml	mililitros
mm	milímetros
PE	polietileno

PET	polietileno tereftalato
ppb	partes por billón
ppm	partes por millón
PVC	policloruro de vinilo
s	segundos
SSed	Sólidos Sedimentables
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
V	volt
V <sub>cc</sub>	voltaje corriente continua
W	watt
Wh	watt-hora
$\Omega$	ohm

### **Elementos y compuestos químicos**

H <sub>2</sub> S	ácido sulfhídrico
CO <sub>2</sub>	bióxido de carbono
CO <sub>2eq</sub>	bióxido de carbono equivalente
CaCO <sub>3</sub>	carbonato de calcio
C	carbono
SF <sub>6</sub>	hexafluoruro de Azufre
HFC <sub>s</sub>	hidrofluorocarbonos
H <sub>2</sub>	hidrógeno
CH <sub>4</sub>	metano
N <sub>2</sub>	nitrógeno
N <sub>2</sub> O	óxido nitroso
PFC <sub>s</sub>	perfluorocarbonos
H <sub>2</sub> O <sub>(vap)</sub>	vapor de agua

## Resumen

Se presenta el diseño de un sistema de climatización mediante un biodigestor (AutoBioGen) para una casa donde habitan cuatro personas en el municipio de Texcoco, Estado de México. El sistema utiliza el calor generado en el AutoBioGen, transfiriendo éste a una manguera dentro del mismo, la cual calienta el agua que se transporta a un zoclo térmico que climatiza la sala-comedor de la casa. Además, el biogás producido en el AutoBioGen se utiliza como combustible para la estufa doméstica; también ayuda a reciclar el agua, así como a generar abono orgánico y energía eléctrica.

El monitoreo del metano ( $\text{CH}_4$ ) producido en el AutoBioGen se llevó acabo utilizando un dispositivo electrónico conocido como Arduino Uno, con el fin de detectar si el  $\text{CH}_4$  generado supera los límites establecidos para prevenir una posible explosión por acumulación de  $\text{CH}_4$ .

Se estableció como objetivo general de la investigación doctoral disminuir los elevados índices de contaminación ambiental generados por el excremento humano en la región de Texcoco, los cuales, al descomponerse, liberan  $\text{CH}_4$ , el cual incide directa e indirectamente como gas de efecto invernadero (GEI) en el cambio climático (CC).

El diseño y la implementación del AutoBioGen tiene un impacto ambiental y económico positivo en la región de Texcoco, así como en la República Mexicana, debido a que el AutoBioGen ayuda a reducir  $1.057 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4$  (cada 45 días) que serían arrojados por cuatro personas que habitan una casa en esta zona, si éstos se fermentaran al aire libre. También disminuye el consumo de energía eléctrica, en  $64.98 \times 10^{-5} \text{ kWh}$  al día, así como del gas licuado de petróleo (GLP) que se utiliza en la estufa doméstica puesto que el AutoBioGen aporta 23.48 litros de  $\text{CH}_4$  al día (1,057 litros de  $\text{CH}_4$  en 45 días). El ahorro monetario en 15 años es de \$90,150.15 pesos, al utilizarse AutoBioGen en la casa habitación para cuatro personas.

**Palabras clave:** biodigestor, metano, Arduino Uno, climatización, zoclo térmico

## **Abstract**

The design of an air conditioning system through a biodigester (AutoBioGen) is presented for a house where four people live in the municipality of Texcoco, State of Mexico. The system uses the heat generated in the AutoBioGen, transferring it to a hose inside it, which heats the water that is transported to a thermal socket that heats the living room of the house. In addition, the biogas produced in the AutoBioGen is used as fuel for the domestic stove; it also helps to recycle water, as well as to generate organic fertilizer and electric power.

The monitoring of the methane ( $\text{CH}_4$ ) produced in the AutoBioGen was carried out using an electronic device known as Arduino Uno, in order to detect if the  $\text{CH}_4$  generated exceeds the established limits to prevent a possible explosion due to the accumulation of  $\text{CH}_4$ .

It was established as a general objective of doctoral research to reduce the high levels of environmental pollution generated by human excrement in the Texcoco region, which, when decomposed, release  $\text{CH}_4$ , which directly and indirectly impacts as a greenhouse gas (GHG) in the climate change (CC).

The design and implementation of the AutoBioGen has a positive environmental and economic impact in the Texcoco region, as well as in the Mexican Republic, because the AutoBioGen helps reduce  $1.057 \text{ m}^3$  of  $\text{CH}_4$  (every 45 days) that would be thrown by four people who inhabit a house in this area, if they are fermented outdoors. It also decreases the consumption of electricity, in  $64.98 \times 10^{-5} \text{ kWh}$  per day, as well as the liquefied petroleum gas (LPG) that is used in the domestic stove since the AutoBioGen provides 23.48 liters of  $\text{CH}_4$  per day (1,057 liters of  $\text{CH}_4$  in 45 days). The monetary saving in 15 years is \$90,150.15 pesos, when AutoBioGen is used in the house for four people.

**Keywords:** *biodigester, methane, Arduino Uno, air conditioning, thermal socket*

# Introducción



La actual crisis energética nacional e internacional es un riesgo social, económico y ambiental latente, que se irá agravando paulatinamente en la segunda y tercera décadas del siglo XXI, debido al declive evidente en la producción de petróleo y gas en los yacimientos en todo el mundo, como es el caso de Al Gahwar en Arabia Saudita y Cantarell en Campeche, México, sucediendo algo similar con los yacimientos gasíferos. Lo anterior ha generado un incremento en los precios del petróleo y gas en los últimos 20 años, aún y cuando en 2017 los precios del petróleo no superaron los 52 dólares debido a cuestiones de exceso de oferta, originada por la extracción de petróleo a partir de esquistos de petróleo en Canadá y Estados Unidos.

Para resolver la problemática anterior, los países desarrollados, encabezados por Estados Unidos, han buscado alternativas energéticas similares a los combustibles fósiles, tal y como ha sido la creciente extracción de petróleo y gas de lutita (denominado *shale* en inglés), la cual, de acuerdo con proyecciones de la Agencia Internacional de Energía, la explotación, perforación y producción de este tipo de combustibles fósiles permitirán que, a partir del 2016, Estados Unidos desplace paulatinamente a Arabia Saudita del segundo puesto en la producción petrolera global (O'Keefe, 2012).

Sin embargo, la explotación de este tipo de yacimientos es insostenible económica y ambientalmente, aun sí se utilizan los más avanzados métodos físicos-químicos para la extracción, tanto de petróleo como del gas de lutita a mediano y largo plazo. Ambos tipos de explotación son altamente contaminantes a nivel hídrico y edáfico, siendo que la explotación del tipo lutita utiliza una mezcla de compuestos químicos altamente cancerígenos que literalmente “exprimen” a las lutitas para extraer una mezcla parecida al petróleo. El gas de lutita se encuentra, en promedio a 5,000 m bajo tierra. Para poder obtener el gas de lutita, se requiere de bombeo de fracturación por medio de fluidos hidráulicos a alta presión. “El resultado es una salmuera, con tendencia al crecimiento bacteriano, y potencialmente contaminado con metales pesados” (SENER, 2013), por lo que el costo real de extracción del petróleo de lutita es de 70 a 80 dólares por barril de petróleo, mientras que el gas de lutita es de 30 a 40 dólares por millar de  $m^3$  siendo, en ambos casos, totalmente insostenible tanto económica como ambientalmente, aún con la pronunciada caída de los precios del petróleo en 2017 (SENER, 2018).

Se estima que en el período 2008-2035 el consumo de energía eléctrica generada a partir de las fuentes renovables tendrá el mayor crecimiento, especialmente en los países emergentes conocidos como BRICS (Brasil, Rusia India, China y Sudáfrica), en tanto que los países desarrollados conocidos como G-7 (Canadá, Alemania, Estados Unidos, Japón, Inglaterra, Francia e Italia) se espera un incremento más moderado (SENER, 2012, p. 44).

Una alternativa posible a la problemática anterior es que los centros de investigación de educación superior y de posgrado, de los países en vías de desarrollo, diseñen e implementen proyectos y prototipos que representen alternativas energéticas viables, económica y ambientalmente, las que deben cumplir con las siguientes características:

- Bajo costo de fabricación, de fácil instalación, uso y mantenimiento.
- Sostenibles ambientalmente.

Esta tesis doctoral tiene como propósito principal el diseño y desarrollo de un equipo conocido como AutoBioGen, el cual funcionará con excremento humano para obtener el biogás (con elevado porcentaje de metano), derivado de la fermentación anaeróbica del excremento. El AutoBioGen construido y diseñado podrá utilizarse con los siguientes propósitos:

- a. Combustible para estufas
- b. Climatización: calentamiento (sustituir la función de un calefactor eléctrico)
- c. Producción de energía eléctrica para autoconsumo
- d. Generación de abono orgánico
- e. Reciclaje de agua residual

El desarrollo del AutoBioGen permitirá la reducción en la emisión de GEI generado por el excremento humano, así como la disminución del consumo de energía eléctrica de la casa habitación donde se instalará el AutoBioGen. Lo anterior ayudará a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y de CH<sub>4</sub> debido a que, en México, el 73.6% de la energía eléctrica

generada se produce a través de tecnologías que utilizan combustibles fósiles como gas natural, combustóleo, carbón y diésel (SENER, 2012, p. 66).

El mercado nacional de biogás está creciendo aceleradamente, específicamente en las zonas rurales del país, debido a que la materia fecal puede obtenerse fácilmente de la cría de los animales de granja que poseen los habitantes, como pueden ser los cerdos y las vacas, principalmente.

Lo anterior ha beneficiado al sector ganadero, particularmente en la zona centro occidente de México (Aguascalientes, Colima, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Zacatecas), donde se encuentra ubicado el 62% de granjas porcinas (SAGARPA, 2011), lo cual implica elevados beneficios económicos y ambientales en dichos estados ya que, con la implementación de biodigestores en esas granjas, es posible producir energía eléctrica para el autoconsumo o combustible para la estufa y/o el boiler (Arvizu, 2008).

Los proyectos de biodigestores que se pretenden impulsar con el desarrollo de esta investigación doctoral pueden beneficiar directa e indirectamente a la sociedad mexicana, por ejemplo:

- En lo económico y social, ya que se generan empleos con el desarrollo de pequeñas y medianas empresas, lo que hace posible el uso de toda la infraestructura ofrecida por el proyecto MIPYME (SE, 2012), para potencializar al máximo la producción de biodigestores con las características propuestas en esta tesis.
- Se beneficia indirectamente a la salud del ser humano al disminuir las plagas y enfermedades debido a la contaminación atmosférica y acuífera, que pueden ocasionar la dispersión del excremento al no ser tratado adecuadamente (SEMARNAT, 2013).

- El biogás generado permite reducir el consumo de combustibles fósiles, disminuyendo la emisión de GEI, lo cual hace posible mitigar sus efectos en el CC (SEMARNAT, 2013).

Los beneficios del uso de biodigestores han sido explorados por diferentes empresas como Sintexha en India y Rotoplas en México. La empresa Sintexha ha desarrollado un biodigestor que convierte el excremento humano, estiércol vacuno o de gallinaza, en combustible apto para su uso en la cocina, así como para generar electricidad. El biodigestor Sintex (con un costo de 425 dólares en 2017), utiliza bacterias productoras de CH<sub>4</sub>, para transformar los diferentes tipos de estiércol. Durante el proceso, las bacterias producen un tipo de biogás con abundante presencia de CH<sub>4</sub>. El biodigestor produce suficiente biogás que puede utilizarse, tanto para generar electricidad como combustible para la estufa doméstica, además, el estiércol fermentado puede usarse como fertilizante (Kahn, 2008).

La empresa mexicana Rotoplas desarrolló un biodigestor autolimpiable, con el objetivo de evitar la contaminación acuífera y atmosférica. El biodigestor tiene una forma similar a un cilindro, lo que permite una mayor eficiencia al contemplar dispositivos de entrada y salida, además de presentar costos mínimos de operación y mantenimiento. El producto está diseñado para su empleo en cualquier tipo de vivienda que no cuente con servicio de drenaje, por ejemplo, en comunidades rurales. Sustituye de manera más eficiente los sistemas tradicionales, como fosas sépticas de concreto y letrinas, ya que éstas son consideradas como foco de contaminación ambiental y de transmisión de enfermedades gastrointestinales, debido a que, al agrietarse las paredes, éstas se saturan debido a la continua deposición y descomposición de excremento.

La capacidad de los diferentes tipos de biodigestores que maneja la marca Rotoplas oscila de los 600 a los 7 mil litros, con un costo que varía de los 5 mil a 45 mil pesos respectivamente (Rotoplas, 2016).

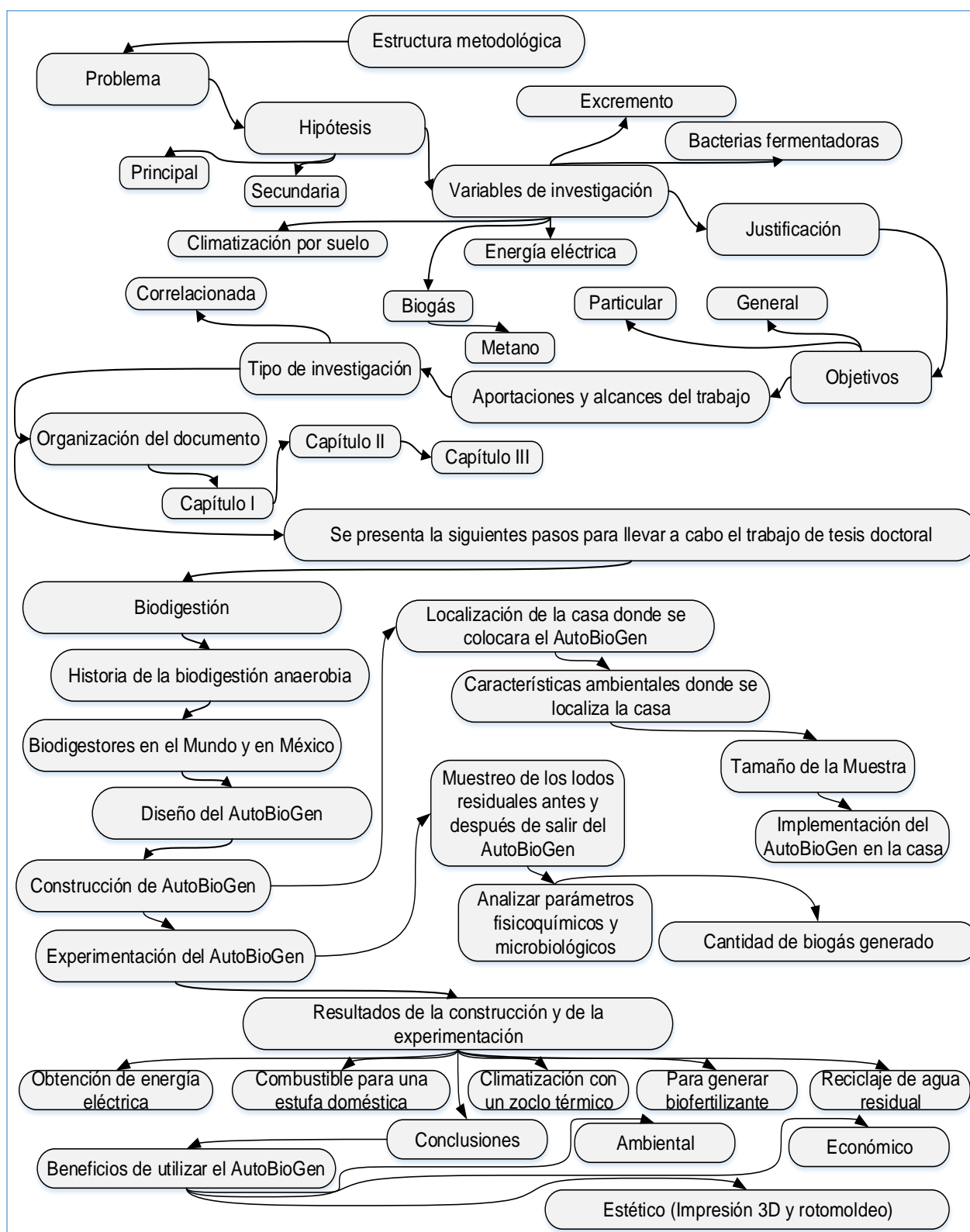
En los últimos años el aprovechamiento del excremento de los animales se ha incrementado con el diseño, implementación y uso de biodigestores con elevada

sostenibilidad económica y medioambiental a mediano y largo plazo (SEMARNAT, 2013). En la actualidad, este tipo de tecnología se encuentra en desarrollo y se emplea en los países más poblados del mundo como son China e India, debido a sus crecientes necesidades energéticas y elevada demanda de electricidad, añadiendo a lo anterior el hecho de que, el biogás obtenido, puede aprovecharse como combustible en las estufas donde se cocinan los alimentos (Herrero, 2008).

# **Estructura metodológica**

Los biodigestores estarán sometidos a un proceso de mejora continua, con el fin de ser eficientes en el aprovechamiento del biogás, para reducir la emisión de CH<sub>4</sub> producido durante la fermentación de los diferentes tipos de excrementos al aire libre.

Las investigaciones que se realicen sobre el uso del biogás representarán un beneficio para la actual sociedad global, de la que México es parte. En esta investigación se determinará la viabilidad del AutoBioGen diseñado, el cual contribuirá a mejorar la calidad de vida de las personas. Este trabajo describe detalladamente cada una de las etapas necesarias para llevar a cabo la construcción y colocación del AutoBioGen en una casa habitación (**Figura 1**).



**Figura 1.** Estructura metodológica. (Elaboración propia)



## **Preguntas de Investigación**

1. ¿En qué tipo de comunidades sería mayor el impacto social, económico y medioambiental al diseñar e implementar el uso de biodigestores domésticos como el que se propone en la presente tesis doctoral?

- En las comunidades rurales aisladas y de menos de 500 habitantes, dado que sería más probable que utilizaran excremento de toda clase de bovinos y ovinos (vacas, borregos, entre otros).

2. ¿Se podrá implementar en unidades habitacionales del fondo de la vivienda del FOVISSSTE o INFONAVIT?

- El AutoBioGen se podrá colocar en las unidades habitacionales o en departamentos para disminuir la contaminación ambiental producida por el excremento humano. De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, se contempla que todas las constructoras como GEO, SARE, URBI y ARA, entre otras, tendrán que construir viviendas de nivel económico tipo medio-medio, medio-alto y de altos ingresos, que sean sostenibles ambientalmente (Estados Unidos Mexicanos, 2013-2018).

3. ¿Cuál será la cantidad de biogás producido por el AutoBioGen?

- La cantidad de biogás generado dentro del AutoBioGen, dependerá de la cantidad de excremento humano.

4. ¿Qué cantidad de energía eléctrica puede producir un generador?

- El generador produce 0.31 kWh y estará conformado por cinco placas peltier, las cuales funcionan con el calor producido en la manguera que trasporta el agua hacia un zoclo térmico.

## **Problema**

En 2010 en México y en el Estado de México el metano ocupó el segundo lugar de GEI producidos por el hombre, detrás del CO<sub>2</sub>. El porcentaje que aportó al gas metano a los GEI fue de 22% en México, y en el Estado de México fue de 24% (INECC, 2010).

El 40% de las emisiones de metano procede de fuentes naturales y el 60% proviene de las actividades humanas como son los sectores: energético, el de desechos (residuos urbanos y tratamiento de lodos y aguas residuales), agrícola e industrial (INECC, 2010).

Las emisiones de CH<sub>4</sub> han aumentado año tras año en México, por ejemplo, en 1990 las emisiones de CH<sub>4</sub> fueron de 4,967.89 Gg (104,325.70 Gg de CO<sub>2eq</sub>), en tanto que en 2010 la cantidad de CH<sub>4</sub> emitido a la atmósfera fue de 7,938.90 Gg de CH<sub>4</sub> (166,716.40 Gg CO<sub>2eq</sub>), lo que representa un incremento del 59.8% (INECC, 2010).

En 2010, el sector energético fue el que más contribuyó a la generación de CH<sub>4</sub> en México, pues su participación fue de 51%, le sigue el de desechos con 25%; la agricultura con 24% y, finalmente, el sector industrial con 0.04% (INECC, 2010).

En el Estado de México el sector de desechos fue el que más repercutió en la generación de CH<sub>4</sub> en el 2010, pues su participación fue de 89.10%, le siguió el agrícola con 9.26% y el energético con 1.65% (Gobierno del Estado de México, 2013). El sector de desechos aportó 478.88 Gg de CH<sub>4</sub>, e incluyó a los subsectores de residuos sólidos urbanos, tratamiento de lodos y aguas residuales, tanto domésticas como industriales (Gobierno del Estado de México, 2013). De los 478.88 Gg de CH<sub>4</sub>, 376.65 Gg correspondieron a residuos urbanos; 61.09 Gg y 41.14 Gg se produjeron por el tratamiento de los lodos y aguas residuales domésticas e industriales, respectivamente (Gobierno del Estado de México, 2013).

¿Cuánto metano contenido en el biogás se dejaría de emitir al instalar un biodigestor en una casa habitación para cuatro personas con un baño, localizada en la región de San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México?

## **Hipótesis**

Si se instala el AutoBioGen en una casa con capacidad para cuatro personas y con un baño, ubicada en la región de San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México, entonces se evitará la emisión de 2 m<sup>3</sup> de metano (cada 45 días) a la atmósfera.

## **Hipótesis secundarias**

El diseño, producción e instalación del AutoBioGen para una casa habitación de cuatro personas en San Luis Huexotla, Texcoco, reducirá en 0.3125 kWh el consumo de energía eléctrica al utilizar placas peltier como generador eléctrico.

Una casa habitación requiere en su interior de una temperatura promedio de 20°C, para mantener un espacio confortable (establecer las condiciones de temperatura, humedad e higiene del aire, dentro de un espacio determinado). El AutoBioGen contribuirá a conservar una temperatura promedio de entre 15 a 20°C en una habitación de 28 m<sup>2</sup>, reduciendo el uso de calentones, calefactores y bombas de calor, los cuales requieren y consumen elevadas cantidades de energía eléctrica, generada principalmente por la combustión de combustibles fósiles.

## **Variables de investigación y de medición**

1. **Excremento.** Analizar el pH y evaluar la cantidad de excremento humano que requiere el biodigestor para producir CH<sub>4</sub>.
2. **Metano.** Calcular los litros de CH<sub>4</sub> generados en el AutoBioGen para utilizarse en la estufa doméstica.
3. **Energía eléctrica.** Calcular el potencial eléctrico producido por las placas peltier que funcionaran como generador determinando los kWh.
4. **Climatización por zoclo térmico.** Se mide la temperatura del agua dentro de la manguera. El agua se dirige a un zoclo térmico que se usa en el proceso de climatización de la sala comedor.

## Diseño Experimental

Se propone colocar el AutoBioGen, en una casa de San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México. Para realizar el diseño experimental, se analizará la excreta líquida antes de entrar (afluente) y al término del proceso de biodigestión (efluente). Se utilizarán las determinaciones y el procedimiento que definió Cerrato (*et al.*, 2010), y son las siguientes:

- a. pH
- b. Sólidos Sedimentables (SSed)
- c. Colonia de Coliformes (UFC)
- d. Temperatura
- e. Agitación
- f. CH<sub>4</sub>
- g. Tiempo de retención

## Justificación

El incremento en la concentración atmosférica de GEI y de CH<sub>4</sub> contribuye a que se agudice el problema medio ambiental que representa el CC.

La concentración de metano en la atmósfera ha aumentado casi un 160% desde la época pre-industrial, hasta situarse en 1,8 partes por millón. Durante el periodo de 1999 a 2006, pareció estabilizarse. Algunos investigadores atribuyen esa estabilización al cambio en las prácticas agronómicas de los arrozceros asiáticos, los cuales empezaron a desecar los arrozales durante la estación de crecimiento de la planta para ahorrar agua, reduciendo así las emisiones de metano. Sin embargo es de preocupar el hecho que desde el 2006, la concentración de metano atmosférico se ha incrementado continuamente (Lavelle, 2013).

## Objetivo general

Diseñar un biodigestor de cinco propósitos que permita fermentar el excremento humano para obtener biogás y reducir, por tanto, las emisiones de CH<sub>4</sub> a la atmósfera, así como disminuir la contaminación de los cuerpos de agua. Los propósitos de biodigestor son los siguientes:

- a. Proporcionar combustible para una estufa doméstica.
- b. Favorecer el proceso de climatización.
- c. Generar de energía eléctrica.
- d. Producir fertilizante orgánico.
- e. Reciclar el agua residual.

Los propósitos anteriormente mencionados contribuirán a un mayor bienestar económico y social de los cuatro habitantes permanentes de una casa habitación, de tipo económico medio-alto.

### **Objetivos particulares**

- Determinar los m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> no emitidos a la atmósfera, al instalar el AutoBioGen en una casa de cuatro habitantes de ingresos medio-alto en el municipio de Texcoco, Estado de México.
- Calcular el ahorro de electricidad al colocar el AutoBioGen en la casa habitación.
- Evaluar el costo-beneficio en la rentabilidad que se obtendrá con el uso de un AutoBioGen en una casa habitación.
- Explorar la solución propuesta para hacerla extensiva a todo tipo de viviendas de forma integral.

### **Aportaciones y alcances del trabajo**

La aportación del AutoBioGen es contribuir a la sostenibilidad ambiental. Las siguientes son las cinco características que debe reunir el AutoBioGen para lograr los propósitos planteados al inicio de la presente investigación doctoral:

1. Bajo costo.
2. De fácil instalación y manejo.
3. Utilización máxima de material reciclable.
4. Disminución de las emisiones de CH<sub>4</sub>.

5. Las desarrolladoras inmobiliarias pueden implementarlo fácilmente en viviendas de costo bajo (\$350,000.00-\$600,000.00 pesos) y medio (\$600,001.00-\$900,000.00 pesos) (INFONAVIT, 2016).

El AutoBioGen sería una aportación del Posgrado en Diseño y Desarrollo de Productos, impartido en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) unidad Azcapotzalco, para que las constructoras de capital privado como GEO, SARE, ARA y URBI entre otras, puedan lograr alguno de los propósitos y fines previstos en el programa ECOHABITAT, construyendo viviendas que sean sostenibles ambientalmente (SEMARNAT, 2006).

### **Tipo de investigación correlacionada**

Esta investigación tiene como finalidad determinar la relación que existe entre dos o más conceptos categorías o variables. Para realizar lo anterior se evalúa el comportamiento de cada una de las variables, posteriormente y de acuerdo con el diseño experimental utilizado, se validarán las mismas, realizando los análisis estadísticos correspondientes para aprobar o rechazar cada una de las hipótesis propuestas en esta investigación doctoral (Baptista, *et al.*, 2010).

Se plantea utilizar un generador eléctrico para generar suficientes Wh, con el fin de recargar dispositivos electrónicos de bajo consumo como son: celulares, tabletas y computadoras portátiles. El generador estará constituido por cinco placas peltier, las cuales emplean temperaturas en la manguera para producir electricidad.

Se propone estudiar la correlación que existe entre las variables, como es el volumen del excremento humano almacenado en el AutoBioGen, con respecto a la producción de CH<sub>4</sub> en m<sup>3</sup>, este último se emplea como combustible para la estufa doméstica. Siendo que, además, el calor generado por la fermentación del excremento ayuda a calentar el agua que está dentro de una manguera de PVC para utilizarla en el proceso de climatización de la sala comedor.

La investigación tiene como finalidad obtener nuevos conocimientos que sean de utilidad para resolver las necesidades energéticas de la sociedad actual, por lo que su realización y desarrollo no contradicen las leyes naturales conocidas y es totalmente factible llevarla a la práctica.

## **Organización del documento**

El documento está constituido por tres capítulos organizados de la siguiente manera:

**Capítulo 1.** Se presenta lo que es el CC, así como los protocolos que se han acordado mundialmente, y que México ha firmado, para reducir la emisión de GEI, en especial el CH<sub>4</sub> considerado como una grave amenaza para la humanidad, ya sea generado en forma natural o por causas antropogénicas, esta última originada principalmente por el excremento del hombre.

**Capítulo 2.** Se plantea la historia de la biodigestión anaerobia, además de la definición de un biodigestor, las partes que lo integran y las características técnicas de su funcionamiento. Se presentan diferentes tipos de biodigestores desarrollados en el mundo y en México. Lo anterior tendrá la finalidad de diseñar y construir un biodigestor competitivo dentro del mercado nacional e internacional.

**Capítulo 3.** Se diseña, construye y experimenta con el AutoBioGen. Posterior a la construcción del prototipo propuesto, se elige el lugar donde se colocará, obteniéndose las características ambientales del sitio de experimentación y tamaño de la muestra. En la experimentación se tomarán muestras del excremento antes y después de salir del AutoBioGen. Posteriormente, se analizan los parámetros físicos y microbiológicos del excremento humano dentro del AutoBioGen. Finalmente, se obtendrá la cantidad de biogás generado y se mostrarán los resultados obtenidos.

**Capítulo 4.** Se muestran los resultados obtenidos tanto ambientales, visuales y económicos al instalar el AutoBioGen en la casa.

# **Capítulo I**

## **Desechos Orgánicos, metano (CH<sub>4</sub>)**



El CH<sub>4</sub> es un GEI cuyo impacto es 21 veces más potentes que los del CO<sub>2</sub> (INECC, 2010). Las emisiones del CH<sub>4</sub> han aumentado drásticamente en los últimos 20 años debido al proceso de deforestación global que tiene lugar en enormes extensiones del sureste mexicano y en la selva amazónica; también se genera por el incremento de las áreas de cultivo de arroz en el sudeste de Asia (China, Indonesia y Filipinas) (Lavelle, 2013).

En el caso de la selva amazónica, la deforestación ha propiciado que dichas áreas sean utilizadas como pastizales, las cuales alimentan a miles de cabezas de ganado cuya carne se exporta a los crecientes mercados de los países agrupados como BRICS. Debido a las elevadas cantidades de excremento bovino que se producen en las áreas ganaderas de reciente incorporación en Brasil, Uruguay y Argentina, las concentraciones en ppm de CH<sub>4</sub>, se han incrementado desde 2006 (INECC, 2010).

Se han creado diferentes agencias medioambientales con el propósito principal de reducir de las emisiones de CH<sub>4</sub>, ejemplo de lo anterior es la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. conocida como EPA, la cual propuso la iniciativa “metano a mercado” cuyos objetivos son (*Methane to Markets*, 2013):

- a. Disminuir las emisiones de CH<sub>4</sub>.
- b. Potenciar el crecimiento económico.
- c. Fortalecer la seguridad energética.
- d. Mejorar la calidad del aire.
- e. Reducir las emisiones de GEI.

El cumplimiento de los anteriores propósitos puede llevarse a cabo con el desarrollo de proyectos para reducir la emisión de CH<sub>4</sub>, con la participación proactiva de los sectores gubernamental y privado de México.

## 1.1 Cambio climático (CC)

Desde hace más de 4,500 millones de años el clima del planeta tiende hacia una estabilización natural, lo que ha permitido la aparición y extinción de numerosas especies vegetales y animales, de acuerdo con las características bioquímicas y climatológicas de cada era geológica que ha sucedido en el planeta (SEMARNAT, 2008).

Dada la evolución de la especie Homo sapiens hasta llegar al actual Homo sapiens, la alteración de la estabilidad climática global provocada por la especie precedente es una realidad comprobada y demostrada. Ejemplo de lo anterior es el CC (Figura 2).

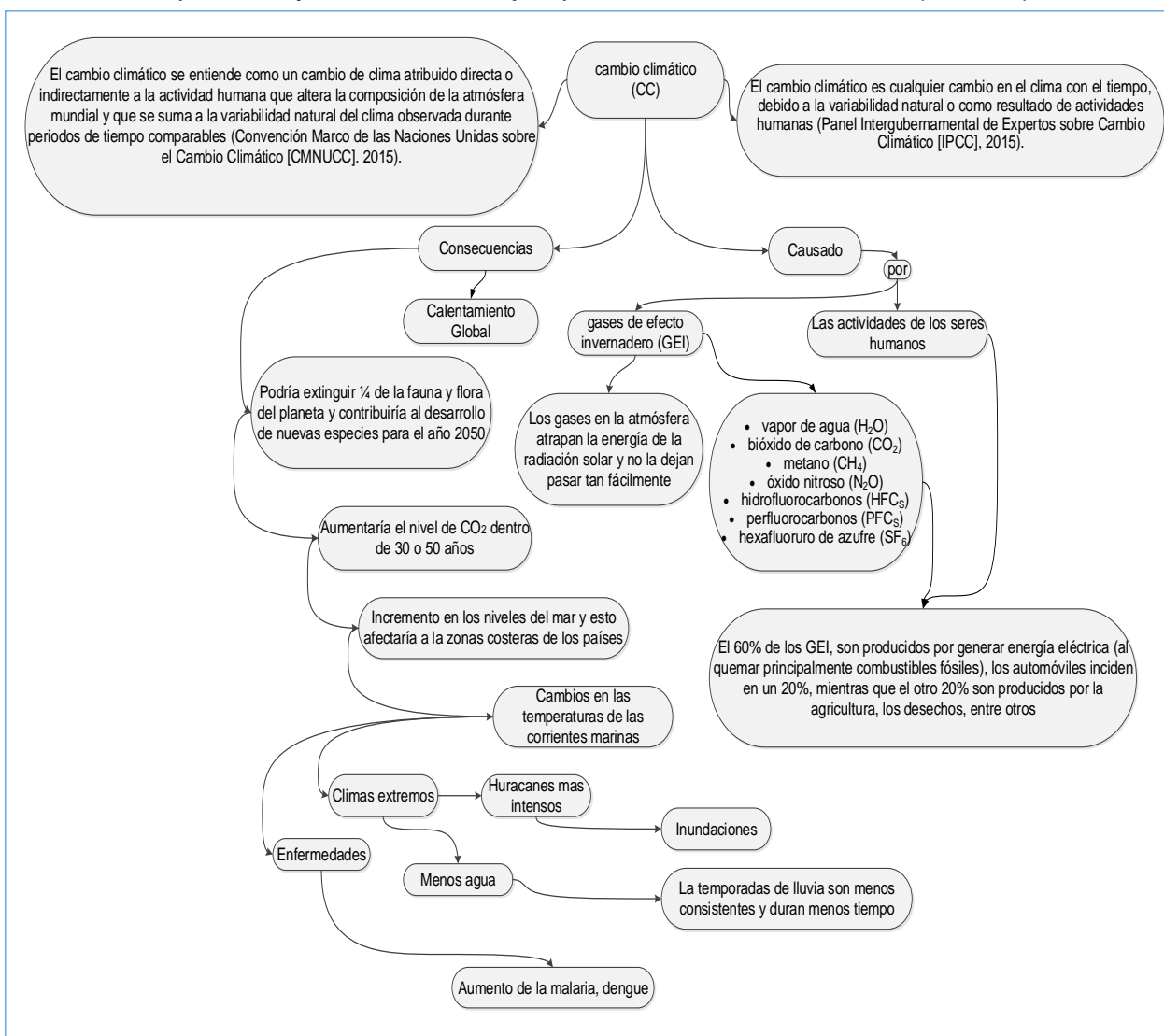


Figura 2. Cambio climático. (Elaboración propia con base en INECC, 2010)

De la Revolución Industrial (finales del siglo XVIII) a la fecha, se han incrementado las evidencias de que el clima ha entrado en una fase de inestabilidad creciente (dos indicadores clave en la evolución del clima son la temperatura y el nivel del mar de acuerdo con el IPCC), por lo que se puede producir, a corto y mediano plazo, un deterioro medioambiental irreversible, que ponga en crisis a la sobrevivencia humana, lo cual ha sido propiciado por la excesiva dependencia del consumo de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbono, tanto convencionales como de lutita), para sostener e incrementar el desarrollo económico de la sociedad desde la época en que inició el desarrollo industrial (SENER, 2012).

La ciencia subraya que la influencia humana en el sistema climático es cada vez más clara, pues no basta con el efecto de los factores naturales para explicar el calentamiento registrado; y, en ese sentido, resulta altamente probable (95-100%) que la influencia humana haya sido la causa predominante del calentamiento observado desde mediados de siglo XX. Se ha detectado la influencia humana en el calentamiento de la atmósfera, el océano, en alteraciones en el ciclo del agua, en reducciones de la cantidad de nieve y hielo, en la elevación media mundial del nivel del mar, en el cambio de algunos fenómenos climáticos extremos entre otras influencias. El IPCC señala que durante el periodo de 1951 a 2010 los GEI han contribuido al calentamiento global en la superficie en un rango de 0.5°C a 1.3°C, mientras que la contribución de los forzamientos naturales se sitúan en un rango de -0.1°C a 0.1°C. (Cruz, *et al.*, 2015. p.13)

Un ejemplo de lo anterior puede ser la actual sobreexplotación, tanto de los bosques tropicales como de los templados, los cuales se han utilizado a lo largo de la historia por las diferentes civilizaciones para producir carbón, papel y madera, en tanto que el consumo de petróleo y gas de tipo convencional, en el siglo XX y lo que va del actual, ha sido, principalmente, para generar energía eléctrica, así como para sostener el creciente parque vehicular en el mundo. Lo anterior ha propiciado la búsqueda y desarrollo de alternativas energéticas sostenibles ambientalmente, como es el caso de las energías renovables, que hagan posible la mitigación de los efectos adversos del CC (SEMARNAT, 2008).

El gobierno federal mexicano ha realizado esfuerzos importantes para el desarrollo y aplicación de una serie de estrategias encaminadas a prevenir y controlar la

contaminación atmosférica, y poder así contribuir a la disminución de los efectos directos e indirectos del CC. Un ejemplo de lo anterior es que desde 2013 a la fecha, el total de hectáreas de áreas naturales protegidas se duplicó (SEMARNAT, 2018).

Durante la última década en México, los efectos del cambio climático y la degradación ambiental se han intensificado. Las sequías, inundaciones y huracanes, han ocasionado que entre los años 2000 y 2010 hayan ocasionado alrededor de 5 mil muertes, 13 millones de afectados y pérdidas económicas por 250,000 millones de pesos. México ha demostrado un gran compromiso con la agenda internacional de medio ambiente y desarrollo sostenible, además de participar en más de 90 acuerdos y protocolos vigentes en temas como cambio climático y biodiversidad. No obstante, el crecimiento económico del país, sigue estrechamente vinculado a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), generación excesiva de residuos sólidos, aguas residuales no tratadas y pérdida de bosques y selvas. (Estados Unidos Mexicanos, 2013-2018, p.77).

El objetivo del plan de desarrollo implementado por México es dar cumplimiento a las políticas gubernamentales de aire limpio, con la participación tanto del sector público como del privado, ejemplo de lo anterior es la participación del gobierno mexicano en el Protocolo de Kioto.

El Protocolo de Kioto estableció como obligación para los países desarrollados la reducción anual del 5% de sus emisiones de GEI, tomando como referencia las emisiones de 1990. Dicho Protocolo tiene como objetivo disminuir la emisión de los GEI que inciden directamente en el CC (UNAM, 2015).

En 2014 el Congreso de Estados Unidos se negó a ratificar el Protocolo, porque lo considera perjudicial para el desarrollo de su economía, además, considera que su aplicación es ineficiente e injusta, al comprometer directamente a países de elevado desarrollo industrial, excluyendo de tales restricciones a países con una producción industrial altamente contaminante, como lo vienen haciendo desde hace cuatro décadas China e India, siendo que el primero es, desde 2006, el mayor productor y consumidor de energía en el mundo, considerándose por lo tanto como el mayor emisor global de CO<sub>2</sub> (UNAM, 2015).

De acuerdo con los últimos reportes y antes de la cumbre de CC que se llevó a cabo en París, Francia, en diciembre de 2015, Estados Unidos contribuiría, a partir de ese año, con una reducción del 50% de sus emisiones de GEI, implementadas a través de órdenes ejecutivas del presidente Barack Obama, dado que el Congreso local se opone a legislar sobre la materia. Asimismo, China contribuiría con la disminución del 30% de la energía proveniente del carbón, impulsando el uso de la energía solar y la eólica. Pero India decidió no cooperar con reducción alguna, argumentando que tal medida afectaría su desarrollo económico.

En 1998 México firmó el Protocolo y en el año 2000 ratificó su compromiso en la categoría de “País no anexo nivel I”, lo que significa país en desarrollo. Con la firma de dicho Protocolo, México intenta disminuir la emisión de GEI a la atmósfera, beneficiando al planeta, en especial a los seres vivos. En la actualidad nuestro país se encuentra inmerso en el desarrollo de varios proyectos para la reducción significativa de GEI, ejemplo de lo anterior es la generación de electricidad utilizando energías renovables como pueden ser la eólica, solar y geotérmica, entre otras. En este contexto se construyó la primera planta termosolar que se puso en funcionamiento en las cercanías de La Paz, Baja California Sur, en noviembre de 2014, a la fecha considerada como la más grande de Latinoamérica. Sin embargo, el potencial solar y eólico del país no ha sido del todo aprovechado (UNAM, 2015).

En 2015 se realizó la cumbre mundial sobre CC en París, Francia, donde se firmó el Acuerdo de París, el cual sustituye al Protocolo de Kioto, destacando las características de universalidad, la cobertura de las emisiones y las bases científicas sobre las que se pactan las decisiones (Comisión Europea, 2016).

En la actualidad casi todos los países del mundo (195 países, incluidos los dos principales emisores que son China y Estados Unidos, los cuales no habían suscrito el Protocolo de Kioto), han presentado los compromisos de reducción significativa en la emisión de GEI, representando más del 95% de las emisiones mundiales de estos gases, manteniendo el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2°C sobre los niveles anteriores a

la Revolución Industrial. Además, los elementos esenciales que definen el Acuerdo de París no volverían a estar sometidos al debate internacional, aunque ahora se establecen metas temporales periódicas y procesos de revisión cada cinco años sobre algunas partes del acuerdo (Comisión Europea, 2016).

La ratificación del Acuerdo se da con la firma de al menos 55 de los 195 países, considerados los países del G-20, que agrupa a los 20 países que aportan el 85% del producto interno global, teniendo vigencia a partir del 22 de abril del 2016 (Comisión Europea, 2016).

Se debe añadir a lo anterior que ahora, en el Acuerdo de París, se incluyen más áreas de actuación, como son la agricultura y los bosques, teniendo una mayor incidencia en las acciones de adaptación climática. Precisamente, la agricultura, la deforestación y los usos del suelo son causantes de casi una cuarta parte de las emisiones globales de GEI. El 11% de esas emisiones se debe a la deforestación, que causa la pérdida de 12 millones de hectáreas anuales. Los suelos, bosques y la actividad agrícola son sectores que han estado tradicionalmente puesto en entredicho, pero que ahora adquirieron un carácter estratégico debido a su enorme potencial de conservación en el equilibrio medioambiental para mitigar el CC (Comisión Europea, 2016).

Los bonos de carbono son un mecanismo internacional que se utiliza para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente a partir del año 2000 (Bono de carbón, 2013). En el mercado de bonos de carbono se ofrecen incentivos económicos a empresas públicas y privadas para que contribuyan a mejorar la calidad ambiental, mediante la regulación de la emisión de CO<sub>2</sub> generada por sus procesos productivos. La comercialización de los bonos de carbono se desarrolla de la siguiente forma: un bono de carbono representa el derecho a emitir una tonelada de CO<sub>2</sub> para mitigar la generación de GEI. Se busca beneficiar a empresas (públicas y privadas) para que no emitan, o que disminuyan progresivamente tales emisiones; mientras que las empresas que emitan más de lo permitido tendrán que pagar la ineficiencia de sus procesos productivos (UNAM, 2015).

La reducción de emisiones de GEI se mide en las toneladas de CO<sub>2eq</sub> que dejan de arrojarse a la atmósfera por el incremento de la eficiencia energética a causa de la sustitución de un combustible fósil, altamente contaminante como el combustóleo, por otro menos contaminante como el gas (natural o GLP). Un Certificado de Emisiones Reducidas (CER) equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que deja de emitirse a la atmósfera el cual, posteriormente, puede venderse en el mercado de carbono a países que generen grandes cantidades de CO<sub>2</sub> (Enciso, 2011).

Los tipos de procesos productivos que pueden ser sujetos de una certificación son, por ejemplo: la generación de energía eléctrica utilizando medios renovables (energía eólica o solar, entre otras); incremento en la eficiencia energética de procesos fabriles y/o líneas de producción, como pueden ser unidades automotrices, fabricación de vidrio y varilla, reforestación, limpieza de lagos y ríos, entre otros procesos. México ocupa el quinto lugar a nivel mundial en la venta de bonos de carbono, con un 1.4% de participación en el mercado de éstos (Enciso, 2011).

De 1997 a la fecha se ha agravado severamente la contaminación atmosférica en las zonas metropolitanas del valle de México, Guadalajara y Monterrey, incidiendo directamente en el CC. Actualmente el Gobierno Federal, el del Estado de México y el de la Ciudad de México, han realizado importantes esfuerzos para controlar y mitigar los efectos del CC en la Zona Metropolitana del valle de México.

El Gobierno Federal incrementó y creó nuevas reservas de la biósfera y parques nacionales, mientras que el gobierno del Estado de México mejoró el transporte masivo implementando tres líneas del Mexibús en operación, las cuales transportan a más de 400 mil pasajeros al día. En tanto, se prevé que en noviembre de 2019 sea inaugurado el tren interurbano Ciudad de México-Toluca, que correrá del metro Observatorio a la terminal de Zinacatepec, Estado de México, el cual atenderá una demanda estimada de 270 mil pasajeros diariamente, así como el tren suburbano de la zona metropolitana de Cuautitlán-Buenavista que beneficia anualmente a más de tres millones de usuarios de la zona metropolitana, entre otros notables esfuerzos (Gobierno del Estado de México, 2015).

## 1.2 Legislación y definiciones

La legislación sobre el CH<sub>4</sub> se contempla en la ley general de CC publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012, por el entonces presidente de la república Licenciado Felipe de Jesús Calderón Hinojosa. Esta ley contiene 116 artículos divididos en nueve títulos, cada uno de ellos con sus respectivos capítulos, además la ley cuenta con diez artículos transitorios (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Primer título.** Se garantiza el derecho a un medio ambiente sano y establece la concurrencia de facultades de la federación, entidades federativas y municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de GEI, al regular sus emisiones (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Segundo título.** La federación, las entidades federativas y los municipios ejercerán sus atribuciones para la mitigación y adaptación al CC, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta ley y en los demás ordenamientos legales aplicables (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Tercer título.** Se crea el INECC como un organismo público descentralizado de la administración pública federal, con personalidad jurídica, patrimonio propio y autonomía de gestión, sectorizado en la SEMARNAT, de conformidad con las disposiciones de la Ley Federal de Entidades Paraestatales. El INECC tiene como propósito principal la difusión de metodologías y tecnologías para la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Cuarto título.** Se establece una política nacional de CC que tiene como objetivo la sustentabilidad en el aprovechamiento o uso de los ecosistemas y los elementos naturales que los integran, al establecer responsabilidad ambiental de quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar al medio ambiente, al obligar a prevenir, minimizar, mitigar, reparar, restaurar y, en última instancia, a la compensación de los



daños que cause, siendo el INECC el organismo sancionador correspondiente (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Quinto título.** Señala que las entidades federativas y los municipios establecerán las bases de coordinación para la integración y funcionamiento del sistema nacional sobre el CC (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Sexto título.** Se evalúa una política nacional de CC, la cual estará sujeta a evaluación periódica y sistemática a través de la coordinación de evaluación, para proponer en su caso, la modificación, adición, o reorientación total o parcialmente de la misma (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Séptimo título.** Toda persona tendrá derecho a que las autoridades en materia de CC, así como la comisión, el consejo y el sistema de información sobre el CC pongan a su disposición la información que les soliciten en los términos previstos por las leyes (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Octavo título.** Se refiere a las responsabilidades sociales para la planeación, ejecución y vigilancia de la política nacional de CC (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

**Noveno título.** Se establecen parámetros para la inspección, vigilancia, medidas de seguridad y sanciones que deberán cumplir las personas físicas o morales sujetas a reportes de emisiones (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

### 1.3 Producción de CH<sub>4</sub> como desecho a la atmósfera

Los GEI considerados en la actualidad son siete:

1. Vapor de agua (H<sub>2</sub>O).
2. Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
3. Metano (CH<sub>4</sub>).
4. Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).
5. Hidrofluorocarbonos (HFCs).

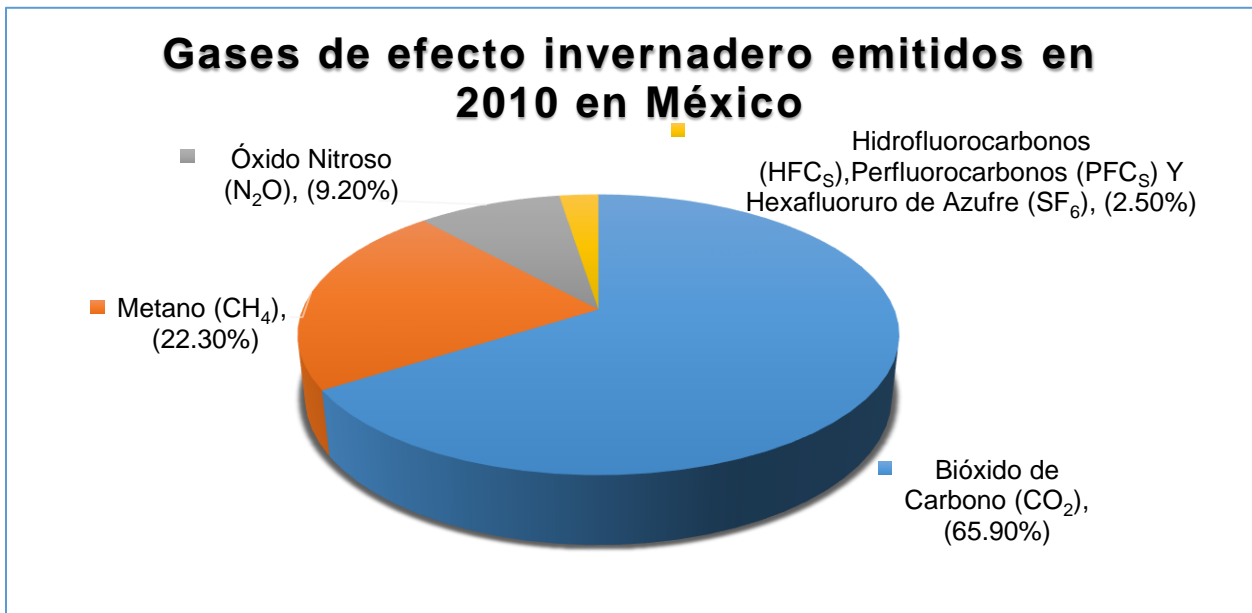
6. Perfluorocarbonos (PFCs).
7. Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>).

Dado que el vapor de agua se encuentra de forma natural formando parte del ciclo del agua, el acuciante problema del CC se ocasiona, principalmente, por los GEI que produce el hombre. La diferencia principal es que la concentración natural de GEI en la atmósfera se ha establecido (con periodos de incremento y decremento) a lo largo de millones de años, en una relación interactiva con los procesos biogeoquímicos de la tierra, y las emisiones antropogénicas de GEI alteran este equilibrio. Además, las actividades industriales emiten gases sintéticos como los HFCs, PFCs y el SF<sub>6</sub> que no existen de manera natural y que también se consideran como GEI (INECC, 2010).

En 2010, tanto en la República Mexicana como en el Estado de México, el CH<sub>4</sub> ocupó el segundo lugar de los GEI producidos por el hombre, detrás del CO<sub>2</sub>. El porcentaje que aportó el CH<sub>4</sub> en 2010 a los GEI fue de 16% en el mundo, mientras que en la República Mexicana fue de 21.75% (INECC, 2010), en tanto que en el Estado de México fue de 24.26% (Gobierno del estado de México, 2013).

En 2010, el porcentaje de cada uno de los GEI en México fueron los siguientes (**Figura 3**) (INECC, 2010):

- a. Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): 65.90%.
- b. Metano (CH<sub>4</sub>): 22.30%.
- c. Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O): 9.20%.
- d. Hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>): 2.50%.

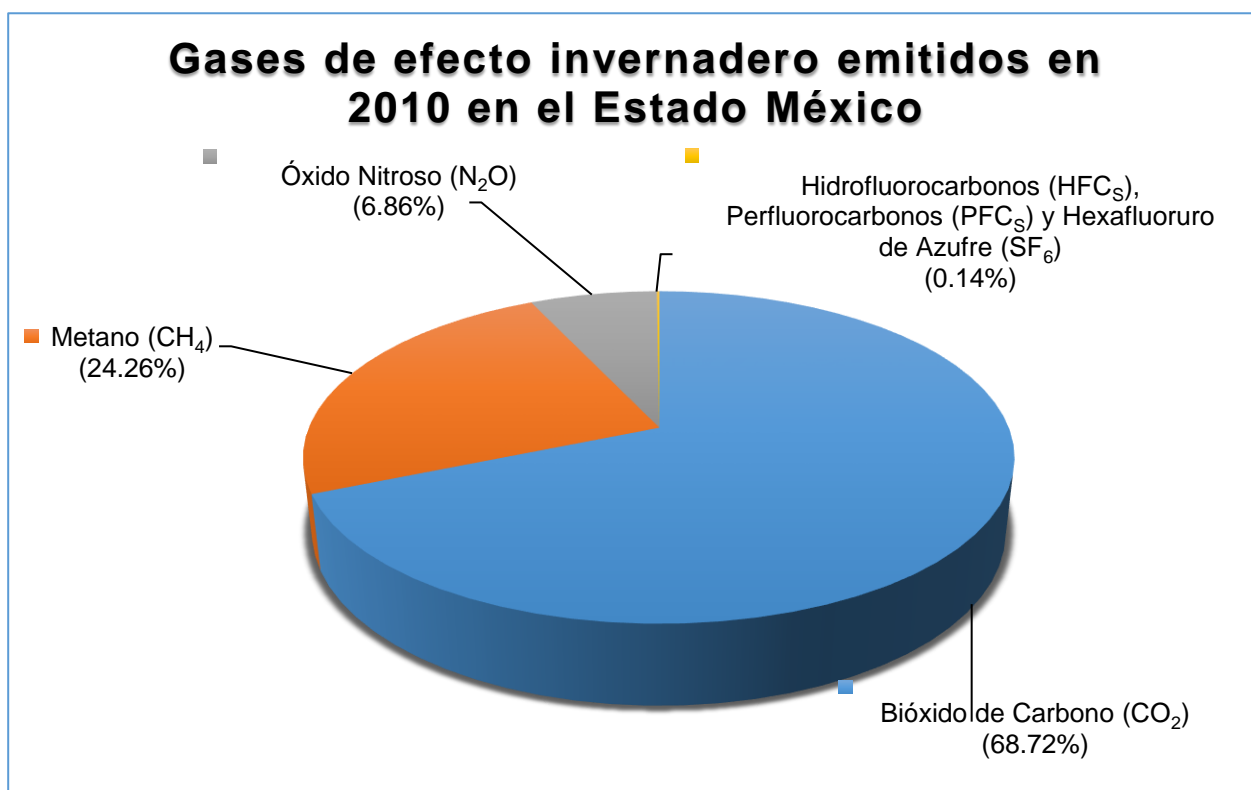


**Figura 3.** Gases de efecto invernadero en 2010 en México. (Elaboración propia con base en INECC, 2010)

La emisión de GEI en 2010 en el Estado de México mostraron los siguientes porcentajes

(Figura 4) (Gobierno del Estado de México, 2013):

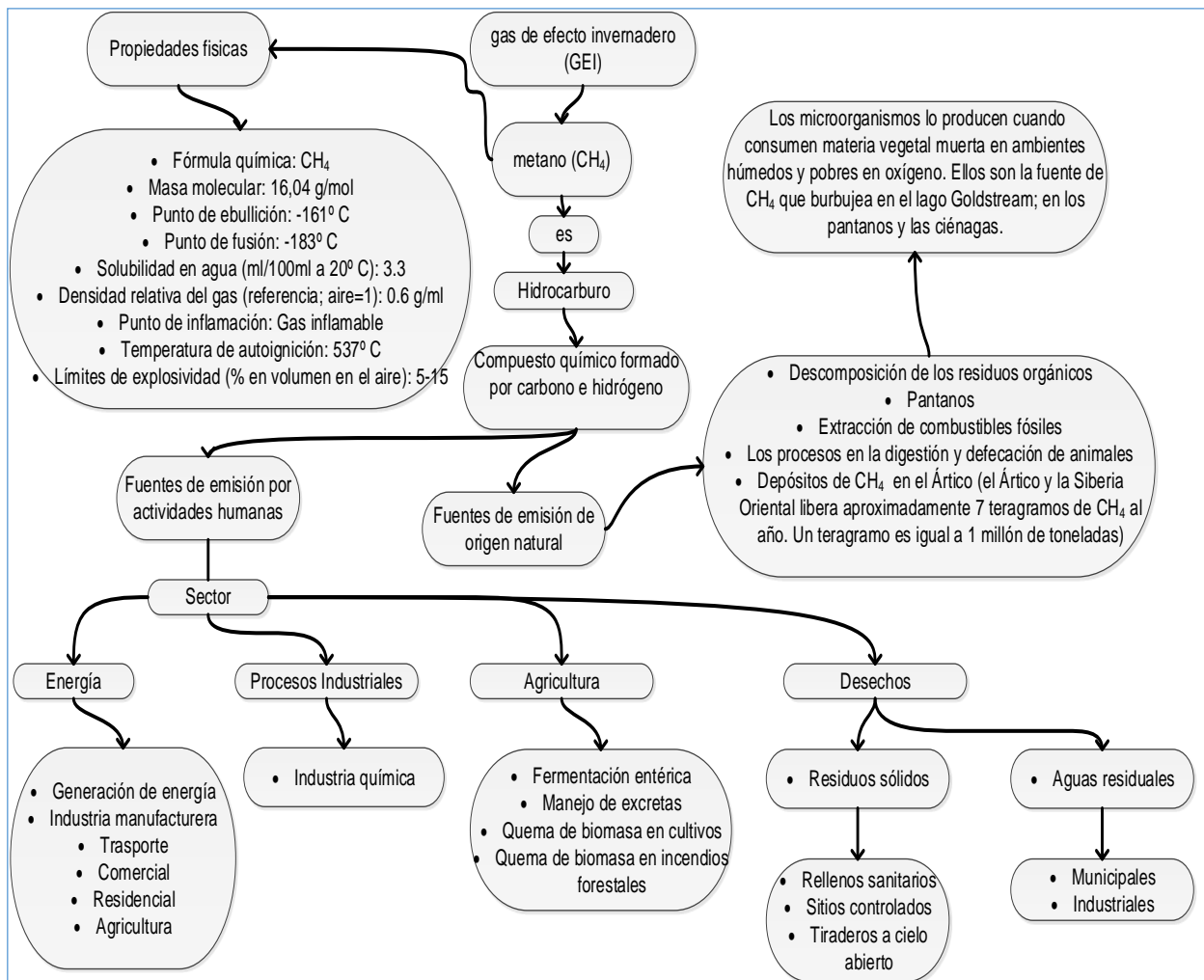
- a. Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): 68.72%.
- b. Metano (CH<sub>4</sub>): 24.26%.
- c. Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O): 6.86%.
- d. Hidrofluorocarbonos (HFC<sub>s</sub>), perfluorocarbonos (PFC<sub>s</sub>) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>): 0.14%.



**Figura 4.** Gases de efecto invernadero en 2010 en el Estado de México.  
(Elaboración propia con base en Gobierno del Estado de México, 2013)

Del 100% de las emisiones de  $\text{CH}_4$  a la atmósfera, el 40% proceden de fuentes naturales como pueden ser los humedales que hay en el mundo (lagos Coongie en Australia; Tumba-Ngiri-Maindombe en República Democrática del Congo; Queen Maud Gulf Migratory Bird Sanctuary en Canadá, entre otros), así como del  $\text{CH}_4$  que se desprende principalmente de la tundra siberiana debido a que el permafrost, que es un suelo congelado con grandes cantidades de materia orgánica, se está descongelando en millones de  $\text{km}^2$  de tundra, iniciando una retroalimentación negativa y, dado que a mayor descongelamiento del permafrost mayor cantidad de  $\text{CH}_4$  liberado, ya que éste se descongela más rápido, acumulándose en la atmósfera, lo anterior se revertirá hasta que se inicie el proceso inverso con una era mini-glacial). El 60% de las emisiones de  $\text{CH}_4$  proviene de actividades humanas como son la ganadería, el cultivo del arroz, la explotación de combustibles fósiles, los vertederos y las aguas residuales, entre otros (Figura 5) (Organización Meteorológica Mundial, 2011).

“Parte del metano que burbujea en los lagos del Ártico podría proceder de hidratos de metano” dice Walter Anthony investigador de la Universidad de Alaska en Fairbanks. Hace unos 56 millones de años, en el paleoceno, un prolongado calentamiento planetario culminó en un brusco aumento de 5°C en la temperatura. Muchos científicos sospechan que la causa fue una masiva desestabilización de los hidratos de metano. La mayoría, incluido Walter Anthony, no cree que hoy pueda producirse una catástrofe semejante. Pero el metano del Ártico podría agravar considerablemente el calentamiento planetario en los próximos siglos (Lavelle, 2013).



**Figura 5.** Gases de efecto invernadero CH<sub>4</sub>. (Elaboración propia con base en INECC, 2010)

Las emisiones de CH<sub>4</sub> han aumentado año tras año en México, por ejemplo, en 1990 las emisiones de CH<sub>4</sub> fueron de 4,967.89 Gg (104,325.70 Gg de CO<sub>2eq</sub>), en tanto que en 2010 la cantidad de CH<sub>4</sub> emitido a la atmósfera fue de 7,938.90 Gg de CH<sub>4</sub> (166,716.40

Gg CO<sub>2eq</sub>)<sup>1</sup>, lo que representa un incremento del 59.8% (INECC, 2010). Los sectores que más contribuyeron en el año 2010 a la anterior cantidad en orden decreciente fueron el energético, el de desechos, el agrícola y el industrial (Tabla 1) (INECC, 2010).

**Tabla 1.** Cantidad de CH<sub>4</sub> emitidos a la atmósfera en 2010 en México por sector. (INECC, 2010)

Sector	Gg de CH <sub>4</sub>	Gg de CO <sub>2eq</sub> (1 Gg de CH <sub>4</sub> equivale a 21 Gg de CO <sub>2</sub> )
<b>Energía</b>	<b>4,046.96</b>	<b>84,946.10</b>
a) Consumo propio	1.31	27.70
b) Generación eléctrica	6.49	136.30
c) Manufactura e industria de la construcción	3.73	78.50
d) Transporte	22.36	469.70
e) Comercial	0.65	13.80
f) Residencial	52.21	1,096.50
g) Agropecuario	1.13	23.80
h) Minas de carbón	312.23	6,556.90
i) Petróleo y gas natural	3,645.85	76,562.90
<b>Desechos</b>	<b>1,968.54</b>	<b>41,323.30</b>
a) Eliminación de desechos sólidos	1,053.20	22,117.70
b) Aguas residuales industriales	452.74	9,507.60
c) Aguas residuales municipales	426.02	8,946.50
d) Incineración abierta	23.43	492.10
e) Incineración	0.46	9.70
f) Tratamiento biológico	11.89	249.70
<b>Agricultura</b>	<b>1,868.90</b>	<b>39,247.10</b>
a) Fermentación entérica del ganado doméstico	1,807.69	37,961.50
b) Manejo del estiércol del ganado doméstico		
c) Cultivo de arroz	52.66	1,106.00
d) Quema en campos de residuos agrícolas	6.56	137.80
	1.99	41.80
<b>Procesos Industriales</b>	<b>3.331</b>	<b>69.951</b>
a) Industria química	3.331	69.951
<b>Total</b>	<b>7,887.731</b>	<b>89,136.451</b>

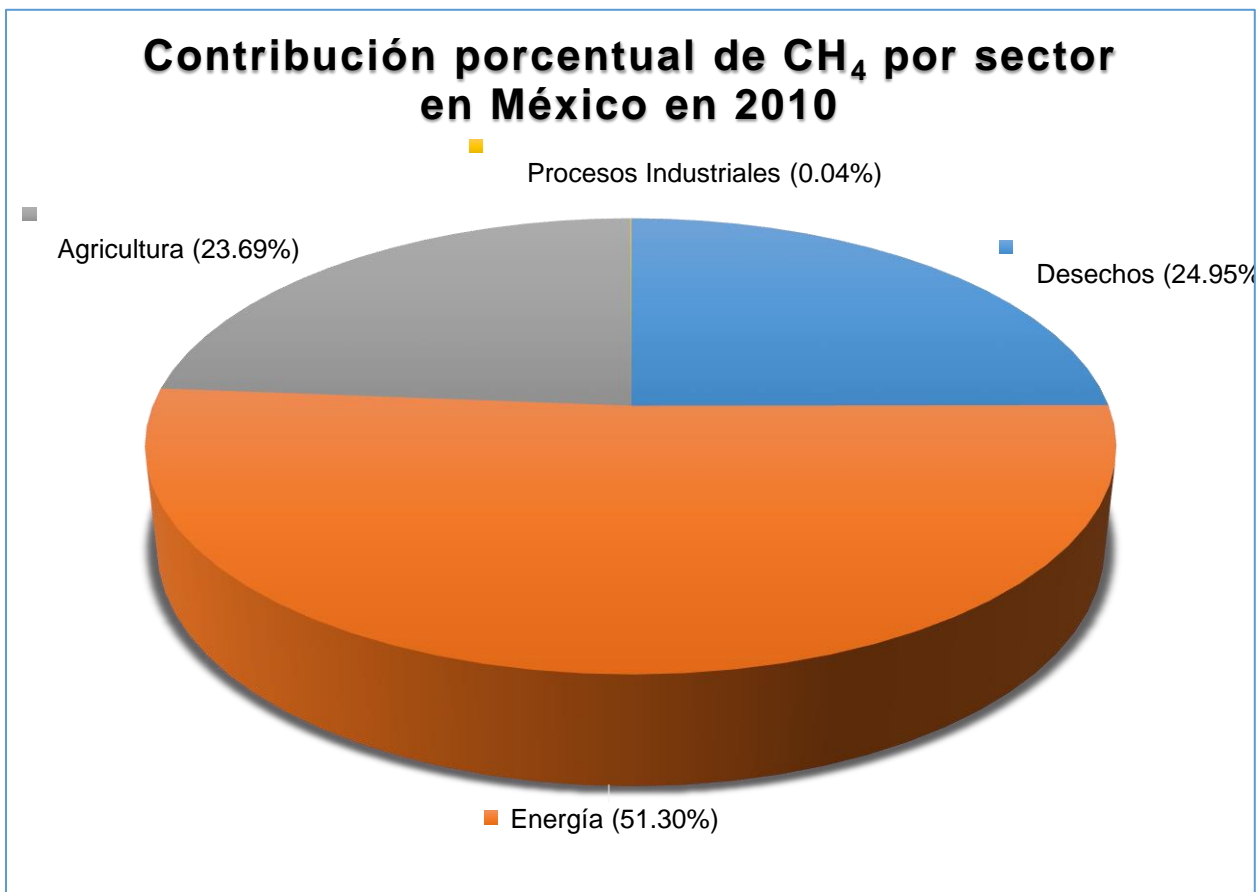
De acuerdo con los datos vertidos en la Tabla 1, el sector de energía fue el que más generó CH<sub>4</sub> en México en 2010, pues su participación fue de 51.30%; le sigue en importancia el sector de desechos con 24.95%; posteriormente la agricultura con 23.69% y, finalmente, el sector Industrial con 0.04% (Figura 6) (INECC, 2010).

<sup>1</sup> Un Gg (1 Gigagramos = 1X10<sup>9</sup> gramos) equivale a un millón de kilogramos o bien a mil toneladas (CMNUCC, 2006).

1 Gg de CO<sub>2</sub> = 1 Gg de CO<sub>2</sub> de acuerdo a la CMNUCC.

1 Gg de CH<sub>4</sub> = 21 Gg de CO<sub>2</sub> de acuerdo a la CMNUCC.

1 Gg de N<sub>2</sub>O = 310 Gg de CO<sub>2</sub> de acuerdo a la CMNUCC.



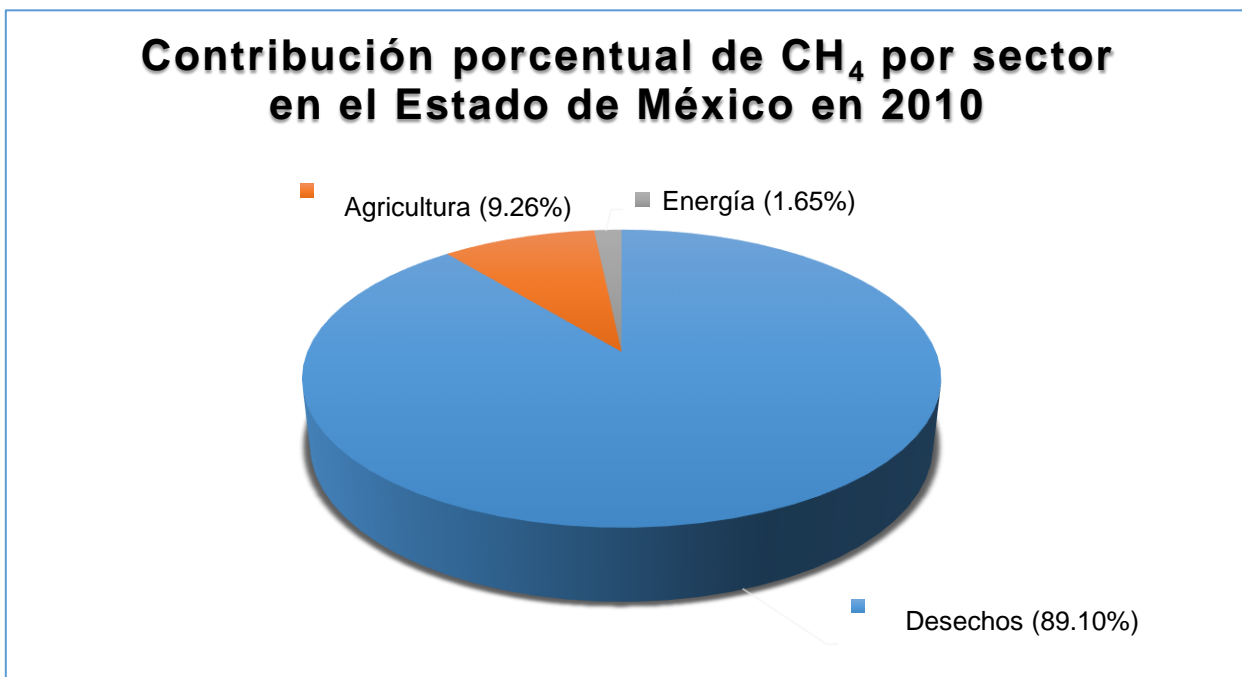
**Figura 6.** Contribución porcentual de CH<sub>4</sub> por sector en México.  
(Elaboración propia con base en INECC, 2010)

En el Estado de México el sector de desechos fue el que más contribuyó a la generación de CH<sub>4</sub> en 2010, pues su participación fue de 89.10%; le siguió el agrícola con 9.26%; y el energético con 1.65% (Gobierno del Estado de México, 2013). El sector de desechos contribuyó con 478.88 Gg de CH<sub>4</sub>, incluyendo a los subsectores de residuos sólidos urbanos, tratamiento de lodos residuales domésticos, aguas residuales domésticas, lodos residuales industriales y aguas residuales industriales (**Tabla 2**) (Gobierno del Estado de México, 2013).

**Tabla 2.** Cantidad de CH<sub>4</sub> emitidos a la atmósfera por sector y subsector en el Estado de México en 2010. (Gobierno del Estado de México, 2013)

Sector y Subsector	Gg de CH <sub>4</sub>	Gg de CO <sub>2eq</sub> (1 Gg de CH <sub>4</sub> equivale a 21 Gg de CO <sub>2</sub> )
<b>Desechos</b>	<b>478.8842</b>	<b>10,056.57</b>
a) Residuos sólidos urbanos	376.65	7,909.65
b) Tratamiento de lodos residuales doméstico	48.31	1,014.51
c) Tratamiento de aguas residuales domésticas	12.78	268.47
d) Tratamiento de lodos residuales industriales	24.61	516.81
e) Tratamiento de aguas residuales industriales	16.53	347.13
<b>Agricultura</b>	<b>50.2223</b>	<b>1,054.67</b>
a) Fermentación entérica	47.5680	998.93
b) Manejo de excretas	1.5138	31.79
c) Quema de residuos agrícolas	1.1238	23.6
d) Cultivo de arroz	0.0166	0.35
<b>Energía</b>	<b>8.8664</b>	<b>186.20</b>
a) Industria generadora de energía	0.0761	1.60
b) Industria manufacturera	0.3761	7.90
c) Transporte	2.3000	48.30
d) Comercial	0.1095	2.30
e) Residencial	5.9952	125.90
f) Agrícola	0.0095	0.20
<b>Total</b>	<b>537.9729</b>	<b>11,297.44</b>

De acuerdo con la Tabla 2, el sector desechos es el que genera más CH<sub>4</sub> (Figura 7), debido a que su fermentación se efectúa al aire libre y el gas se disipa directamente en la atmósfera, contribuyendo al incremento del CC.

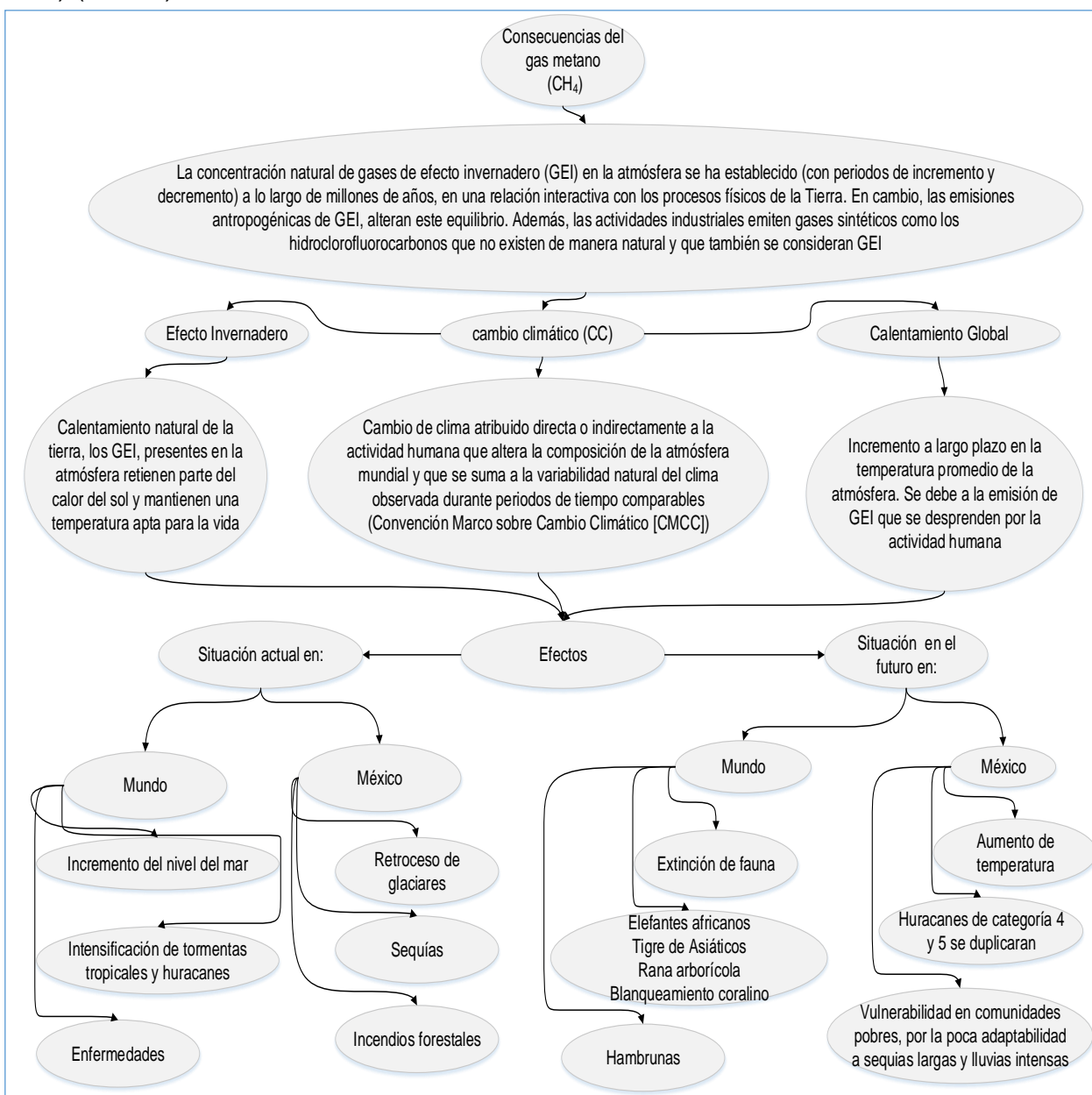


**Figura 7.** Contribución porcentual de CH<sub>4</sub> por sector en el Estado de México 2010. (Elaboración propia con base en Gobierno del Estado de México, 2013)



## 1.4 Consecuencias de la emisión de CH<sub>4</sub>

El CH<sub>4</sub> antropogénico es una GEI que contribuye al cambio climático, lo cual tiene consecuencias en el mundo y, en especial, en México (**Figura 8**) (INECC, 2010). Se ha mencionado anteriormente que el CH<sub>4</sub> es 21 veces más potente que el CO<sub>2</sub>, aunque sus efectos nocivos son más cortos en duración, tiene un efecto importante en el CC (INECC, 2010) (**Tabla 3**).



**Figura 8.** Consecuencias de CH<sub>4</sub> como GEI. (Elaboración propia con base en INECC, 2010)

**Tabla 3.** GEI considerados por el Protocolo de Kioto. (CMNUCC, 2006)

Nota: ppm= partes por millón; ppb= partes por billón

	Gas	Fuente	Potencial de cambio climático (CO <sub>2eq</sub> )	Vida media (años)	Concentración	
					Preindustrial (1750)	Actual (1998-2005)
<b>Gases antropogénicos</b>	bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Uso de combustibles fósiles y leña, deforestación, reacciones químicas en procesos de manufactura	1	50 a 200	288 ppm	379 ppm (año 2005)
	<b>metano (CH<sub>4</sub>)</b>	<b>Cultivo de arroz, ganado, tiraderos de basura, escape de gas en minas y pozos petroleros</b>	<b>21</b>	<b>12 +/- 3</b>	<b>715 ppb</b>	<b>1774 ppb (año 2005)</b>
	óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	Producción y uso de fertilizantes nitrogenados, deforestación, uso de leña	310	120	270 ppm	319 ppm (año 2005)
	hidrofluoro-carbonos (HFCs)	Proceso de manufactura y utilizado como refrigerantes	6,500 a 9,200	2,600 a 50,000	0	14 ppb (año 2005)
	perfluoro-carbonos (PFCs)	Emitidos en proceso de manufactura y usados como refrigerantes	140 a 11,700	1.5 a 264	40 ppb	80 ppb (año 1998)
	hexafluoruro de Azufre (SF <sub>6</sub> )	Emitidos en proceso de manufactura donde se usa como fluido dieléctrico	23,900	3,200	0	4.2 ppb (año 1998)

Si se inhala en pequeñas cantidades, El CH<sub>4</sub> no es tóxico ni peligroso, pero en grandes cantidades el metano desplaza el oxígeno del aire y puede provocar asfixia (INECC, 2010). El CH<sub>4</sub> es una sustancia extremadamente inflamable y al contacto con el aire resulta explosivo, llegando a producir incendios (INECC, 2010). Algunos ejemplos de explosiones por acumulación de CH<sub>4</sub> son los siguientes:

1. En España se registró una explosión el 7 de enero de 1993 debido a que el CH<sub>4</sub> se había acumulado a lo largo de un colector de 700 m de longitud en un polígono industrial de Fuenlabrada, en Madrid. Aunque no dejó personas fallecidas, destrozó 700 m de la calle, además de ocasionar grietas en otras vías y alcantarillas despedidas, algunas de

las cuales atravesaron el techo de las fábricas. El estruendo se escuchó hasta en 5 km<sup>2</sup> a la redonda (Aristegui, 2013).

2. Una explosión el 31 de enero de 2013 en el edificio B-2 del complejo Torre de Pemex, se debió a una acumulación de CH<sub>4</sub>, lo que dejó un saldo, al momento del suceso, de 37 persona fallecidas y más de 100 heridos (Aristegui, 2013).

En el capítulo dos se analizará dos la biodigestión anaerobia, la cual puede aprovecharse para disminuir los peligros del metano, anteriormente mencionados.

# **Capítulo II**

## **La biodigestión**

Como parte de las obligaciones adquiridas por los países desarrollados (los emergentes, conocidos como BRICS), así como la mayoría de los países en vías de desarrollo, los cuales se habían comprometido a alcanzar las obligaciones establecidas por el Acuerdo de París para la década de 2015 a 2025, a partir de 1990 se han implementado programas ambientalmente coherentes y congruentes para disminuir la emisión de GEI, ejemplo de lo anterior es el aprovechamiento del excrementos de los animales y de los seres humanos ya que, al fermentarse anaeróbicamente, liberan  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  (SAGARPA, 2012).

Otro problema ocasionado por el excremento es la elevada contaminación a los cuerpos naturales de agua, lo cual favorece la proliferación de enfermedades respiratorias y/o gastrointestinales, reduce el número de fuentes de agua potable disponibles e incrementa los costos de abastecimiento de agua para el consumo humano. Por las razones anteriores existen proyectos en varios países del mundo para que se incremente el diseño y uso de biodigestores. Estos últimos son contenedores que aprovechan la fermentación anaeróbica tanto del excremento de los rumiantes, como del ganado porcino, ovino, caprino, de aves de corral y del humano, para producir biogás, el cual se aprovecha como combustible para la estufa doméstica, para generar energía eléctrica y, con el excremento ya fermentado, para la producción de abono (CONACYT, 2015).

## 2.1 Historia de la biodigestión anaerobia

La biodigestión o digestión anaeróbica es un proceso biológico desarrollado por microorganismos anaerobios que transforman la materia orgánica en biogás obteniéndose, además, un biofertilizante, o bioabono, rico en nutrientes. Este proceso se desarrolla de manera natural en el tracto intestinal de los animales con cuatro estómagos, conocidos como rumiantes, en los pozos negros, el “gas de los pantanos”, en los vertederos de residuos municipales y en los biodigestores, entre otros (Vega, 1996).

La biodigestión anaerobia llevada a cabo en los biodigestores se utilizó en un principio para satisfacer las necesidades de energía eléctrica. Actualmente, además de ser empleada para generar electricidad, la biodigestión se aplica para el manejo de residuos y excretas de origen humano, pecuario o residuos de post cosecha, los cuales pueden utilizarse, con tratamiento previo, como fertilizantes para cultivos básicos y/o forrajeros (Vera, 1996). Desde 1884 hasta la fecha se ha trabajado para aprovechar la biodigestión anaerobia (**Figura 9**).



**Figura 9.** Historia de la biodigestión. (Elaboración propia con base en Vera, 1996)

## 2.2 Componentes y clasificación de biodigestores

La materia prima de un biodigestor (Figura 10) puede formarse por los residuos agropecuarios (excremento de animales) o por los residuos sólidos urbanos (materia orgánica desechada). Las aguas residuales que se descargan en el drenaje llevan una cantidad de materia orgánica disuelta, que puede aprovecharse para generar energía eléctrica y contribuir, además, a disminuir la emisión de GEI.

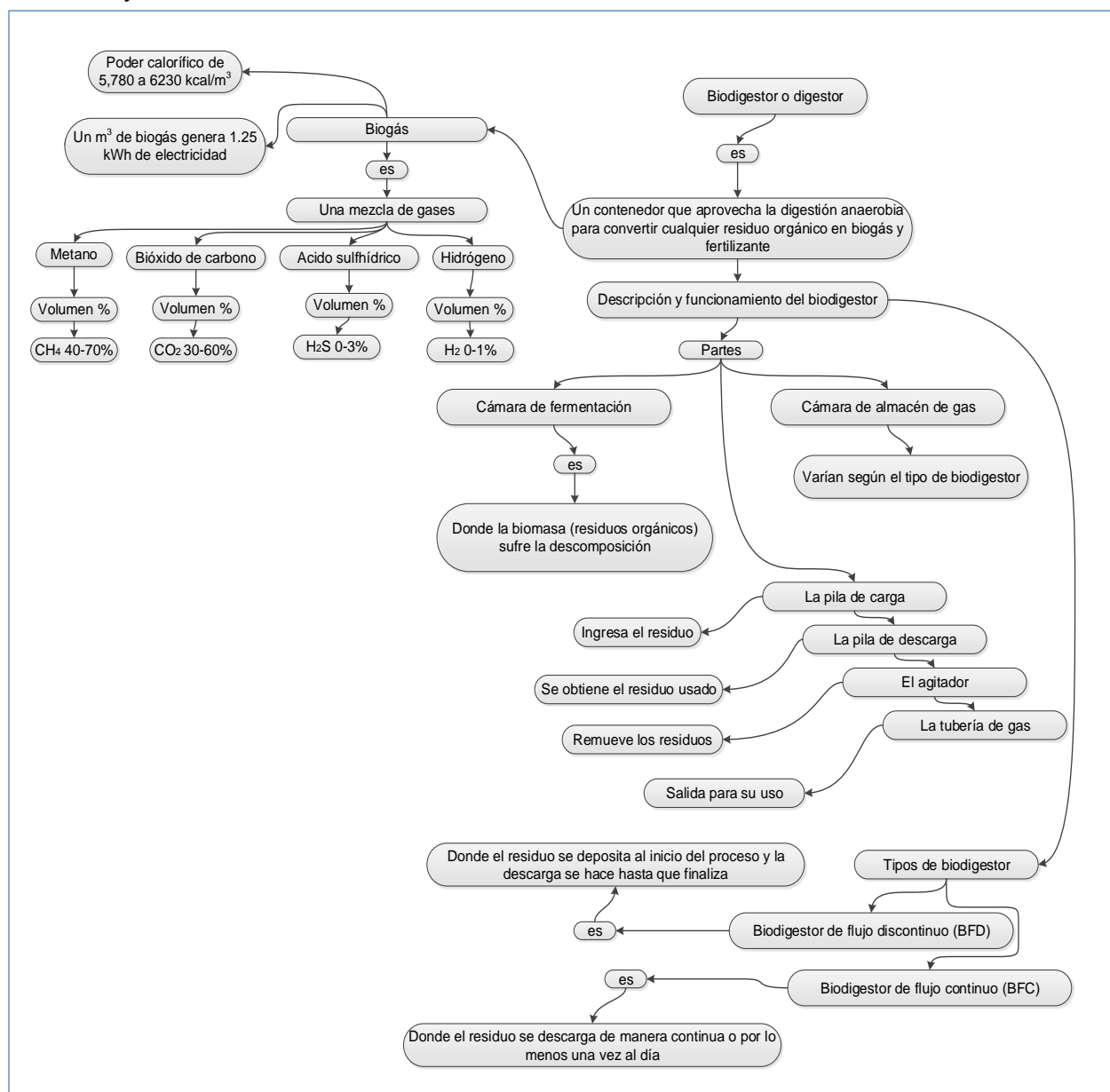
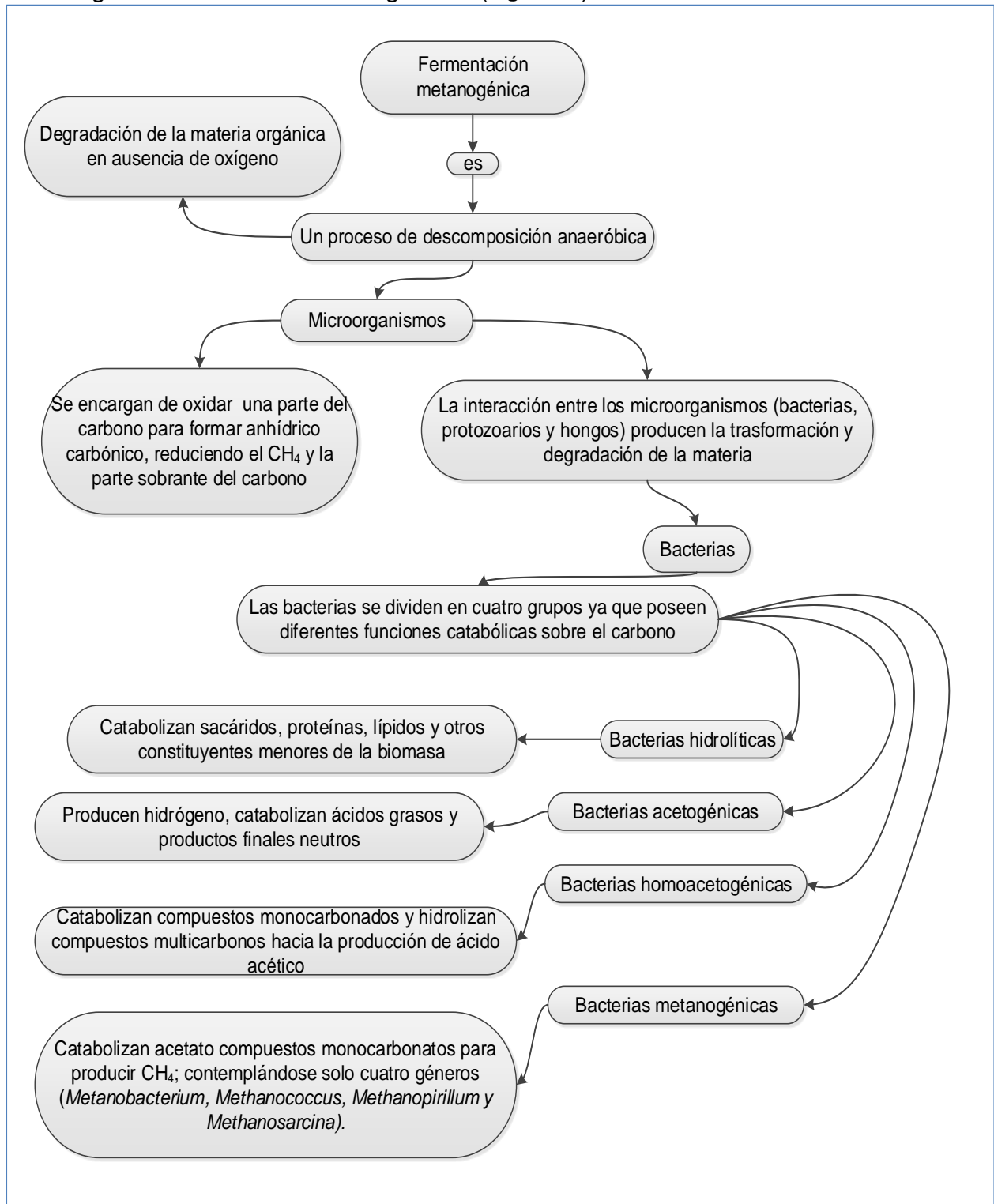


Figura 10. Biodigestor. (Elaboración propia con base en Vera, 1996)

Para lograr la biodigestión dentro del biodigestor debe existir una fermentación llamada metanogénica de los desechos orgánicos (**Figura 11**).



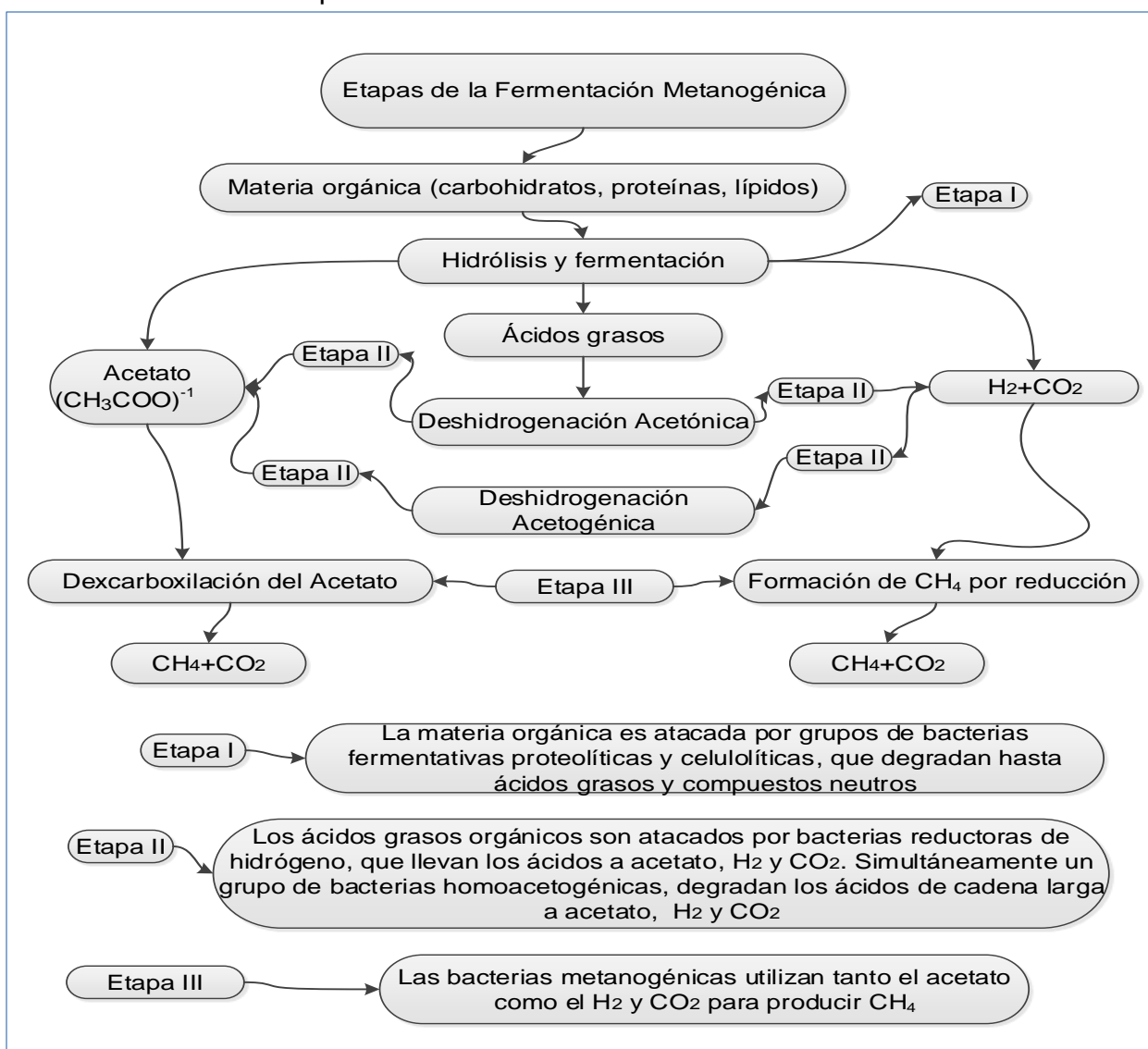
**Figura 11.** Fermentación metanogénica. (Elaboración propia con base en Vera, 1996)



En la Figura 12 se muestra que la fermentación metanogénica cumple tres etapas para realizar la transformación, siendo éstas las siguientes:

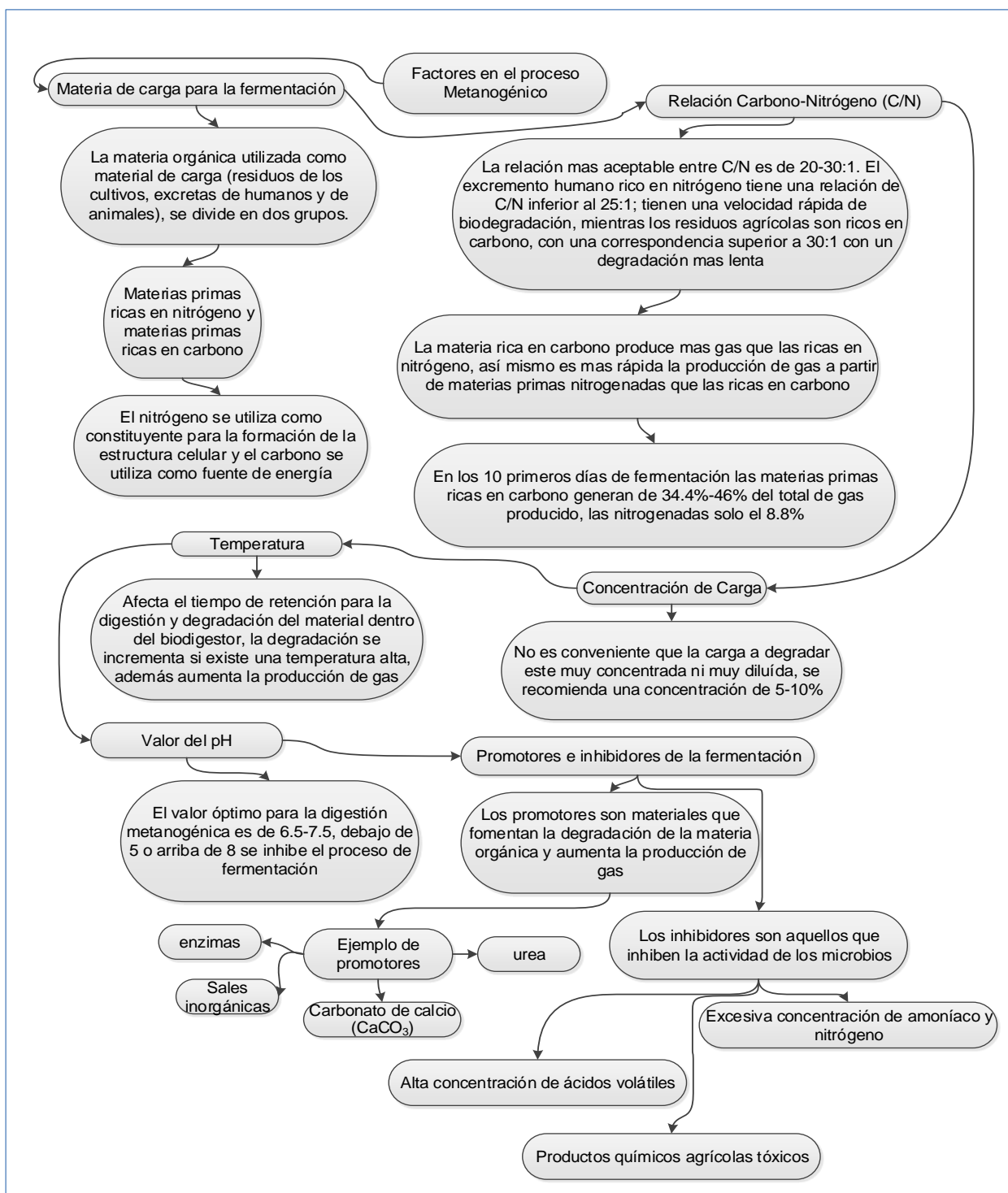
- Hidrólisis y fermentación (Etapa I)
- Deshidratación acetónica (Etapa II)
- La formación de  $\text{CH}_4$  por reducción (Etapa III)

De forma normal es importante una acción conjunta entre bacterias productoras de  $\text{CH}_4$  y las que no lo producen, al tener un exceso o falta de uno de los grupos de bacterias, da como resultado un nulo proceso de fermentación.



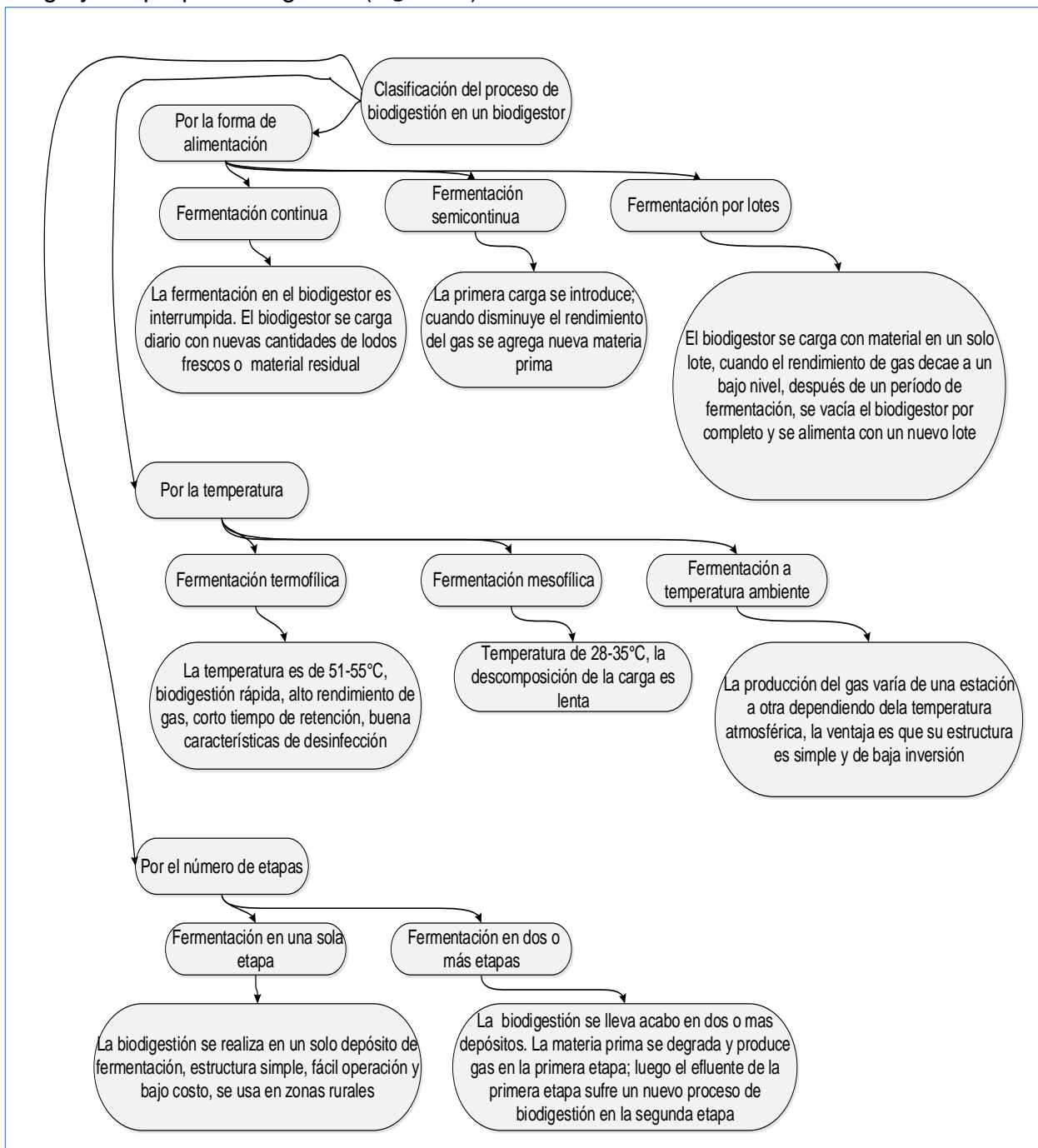
**Figura 12.** Etapas de la fermentación metanogénica. (Elaboración propia con base en Vera, 1996)

Se han encontrado diversos factores que influyen directamente en la fermentación metanogénica, capaces de modificar la rapidez de descomposición (**Figura 13**).



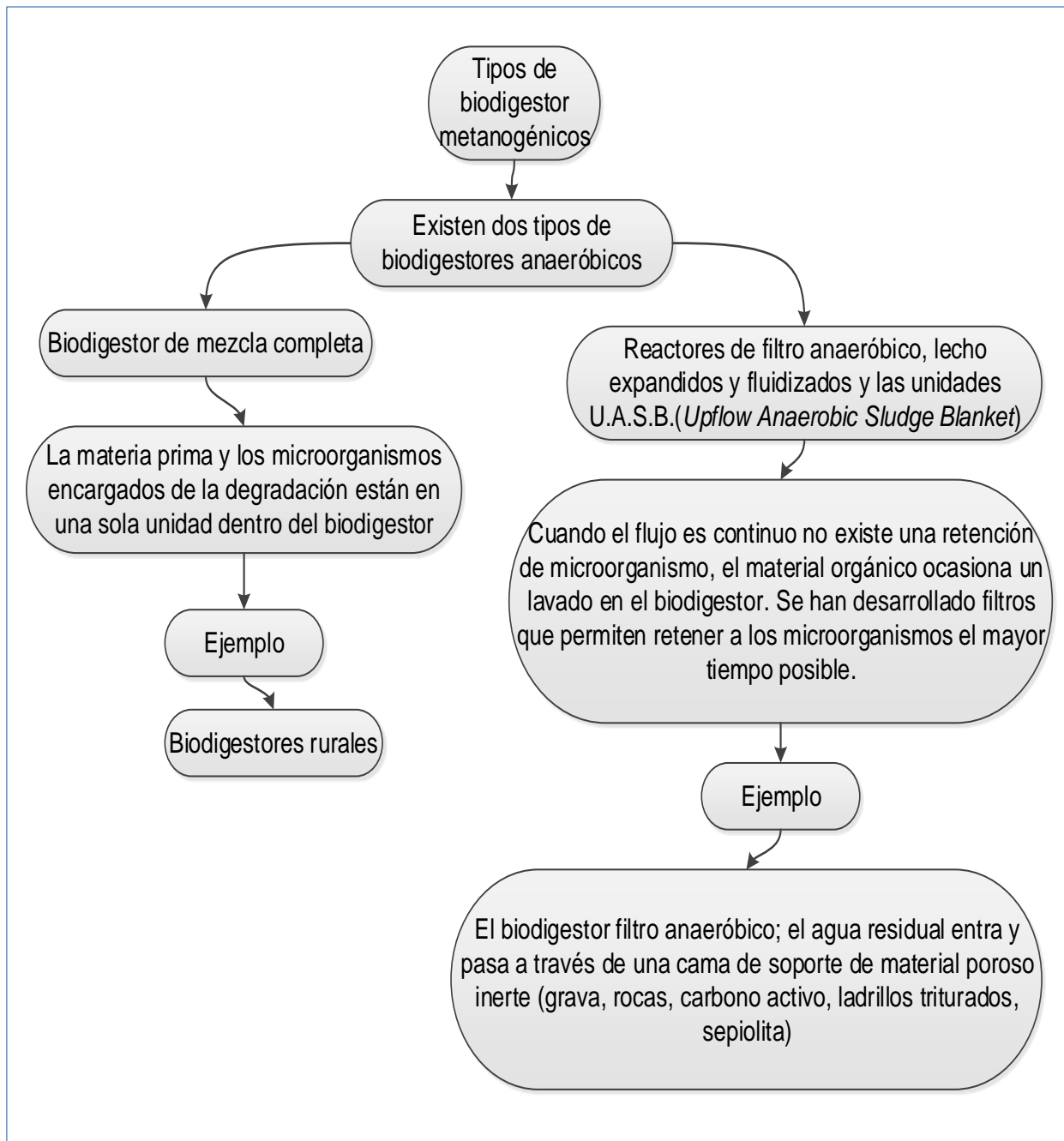
**Figura 13.** Factores del proceso metanogénicos. (Elaboración propia con base en Vera, 1996)

Durante el proceso para producir biogás dentro del biodigestor, éste necesita condiciones ambientales propicias y un manejo adecuado y eficiente de los residuos orgánicos; existiendo diversos procesos para tratar a estos, dependiendo el diseño del sistema de carga y del propio biodigestor (**Figura 14**).



**Figura 14.** Clasificación del proceso de biodigestión en un biodigestor.  
(Elaboración propia con base en Vera, 1996)

La biodigestión anaerobia en el biodigestor, necesita mantener suficiente cantidad de lodos activos (materia orgánica) dentro de biodigestor, para que las bacterias fermenten y degraden la materia orgánica (Figura 15).



**Figura 15.** Tipos de biodigestores metanogénicos. (Elaboración propia con base en Vera, 1996)

Los biodigestores son contenedores, en los cuales se realiza una fermentación anaerobia, con el fin de producir biogás, tienen varios componentes y clasificaciones (Figura 16).

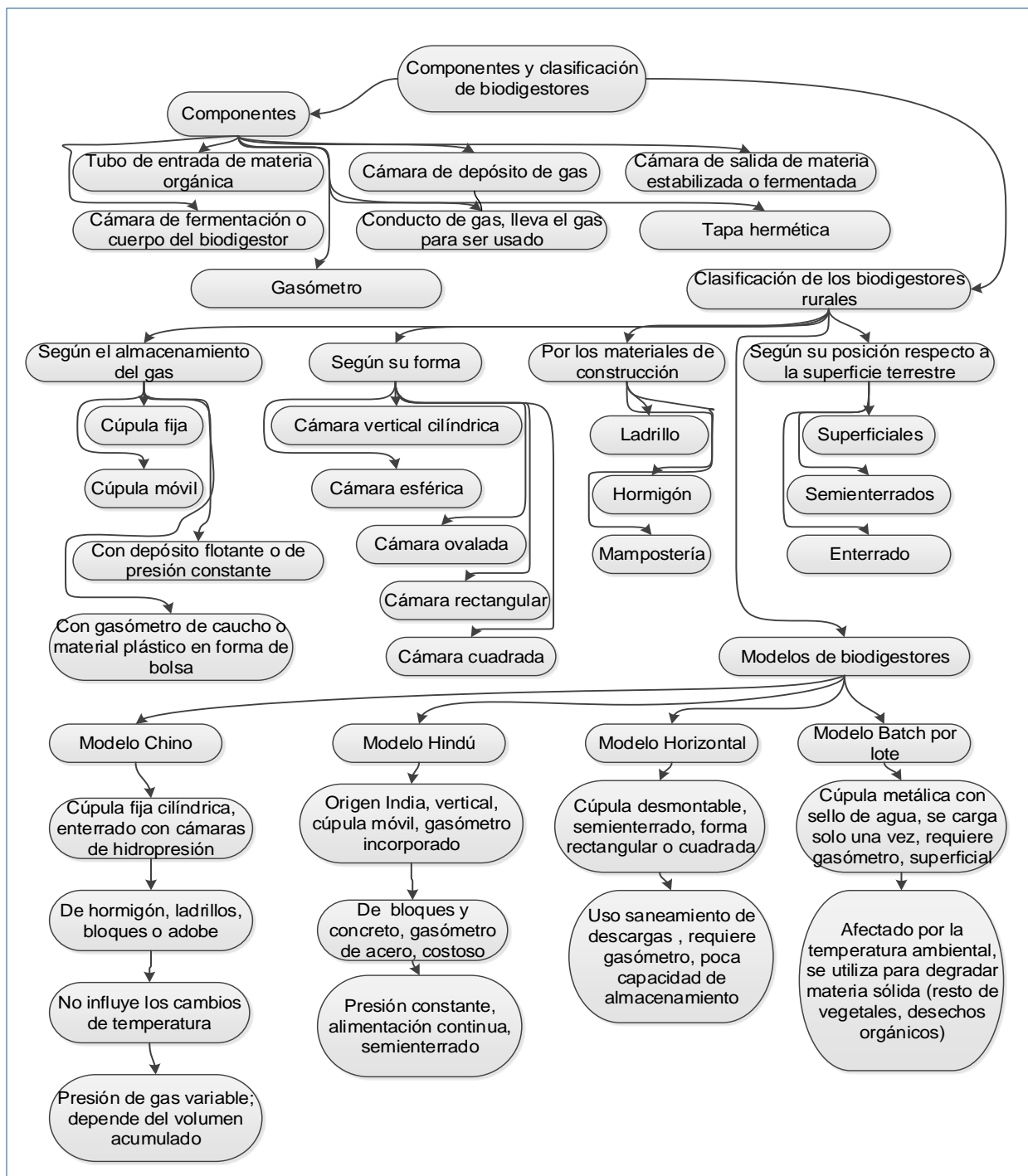


Figura 16. Componentes y clasificación de biodigestores. (Elaboración propia con base en Vera, 1996)

## 2.3 Principales biodigestores en el Mundo y en México

Como se ha mencionado, empresas como Sintexha han desarrollado biodigestores para las zonas rurales en India. El biodigestor aprovecha el excremento del ser humano para producir energía eléctrica (Kahn, 2008).

El inodoro No-Mix Vacuum, desarrollado en la Universidad Tecnológica de Nanyang, República de Singapur, es un retrete ecológico que está equipado con dos recipientes que recogen por separado las deposiciones líquidas y sólidas, las cuales van a parar a un biodigestor en donde se fermenta el excremento. El biogás que resulta de la fermentación del excremento se usa para generar energía eléctrica o combustible para las estufas. Este retrete requiere sólo 0.2 litros de agua para evacuar la orina y un litro para las deposiciones sólidas, lo que supone un 90% de ahorro con respecto al sistema convencional (“Innovador retrete”, 2012).

En 2012, en la provincia de Santa Fe, Argentina, dos estudiantes de secundaria técnica desarrollaron un biodigestor automatizado, controlado mediante PLC. El biodigestor consiste en un tambor grande (1.20 m de diámetro x 1 m de altura), al que entran aguas residuales de una vivienda. Como resultado, se obtiene en la salida de aguas tratadas, una biomasa que sirve como abono o fertilizante y  $\text{CH}_4$ , que puede emplearse como combustible para una estufa de cocina o para generar electricidad. La automatización del biodigestor facilita todas las actividades de monitoreo, como pueden ser la temperatura, el pH, biogás generado, niveles de excremento y la relación de este último con el agua (“Alumnos de la escuela Avellaneda automatizaron un biodigestor”, 2012).

En México, la SAGARPA ha apoyado a las granjas bovinas y porcinas para que utilicen el excremento para generar biogás y que éste sea empleado para producir electricidad y abono (SAGARPA, 2012).

De acuerdo con un estudio realizado por la SAGARPA, en México existen alrededor de 479 biodigestores (se definió el tamaño de la muestra en solo 10 estados de la república mexicana), como se expone en la Tabla 4 (SAGARPA, 2012).

**Tabla 4.** Estados seleccionados en la definición de la muestra modificada. (SAGARPA, 2012)

Estados seleccionados en la definición de la muestra modificada		
No.	Estado	No. Biodigestores
1	Guanajuato	29
2	Jalisco	124
3	Michoacán	6
4	Nuevo León	14
5	Puebla	28
6	Querétaro	9
7	Sonora	157
8	Yucatán	45
9	Veracruz	3
10	Comarca Lagunera	64
Total		479

La promoción del uso de biodigestores por parte de SAGARPA en México pretende lograr los siguientes propósitos:

- Lograr el interés de empresas nacionales y extranjeras para el desarrollo de biodigestores.
- Desarrollar, caracterizar y evaluar la operación de biodigestores en granjas bovinas, porcinas y de aves de corral, entre otras en México.
- Estudiar el desempeño de los biodigestores anaeróbicos utilizados en la República Mexicana, como una alternativa de tratamiento primario de las excretas bovinas y porcinas, contemplando tanto el costo-beneficio, como su vida útil.
- Capacitar al personal técnico calificado para el diseño, instalación y manejo de biodigestores para granjas bovinas, porcinas, ovinas, entre otras.

El rumen excretado por los animales bóvidos da lugar a la producción de CH<sub>4</sub>, y también las excreciones vertidas al suelo cargadas de proteínas no asimiladas en el tracto gastrointestinal de los animales, contribuyen a la emisión de CH<sub>4</sub> al ambiente (Vera Ku, 2012). Lo anterior favorece de manera importante al CC a través de las emisiones de CH<sub>4</sub> producidas continuamente en el rumen. Es posible reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> ruminal, mejorando la alimentación de los animales al incluir especies de plantas ricas en taninos y saponinas (metabolitos secundarios) tales como los árboles leguminosos *Leucaena leucocephala* y *Enterolobium cyclocarpum*, entre muchos otros (Vera Ku, 2012).

Además, en México, diferentes centros públicos de investigación y universidades como son el CONACYT, el CINVESTAV, la UACH, la UNAM, el COLPOS y el IPN, entre otras instituciones de educación superior y de posgrado, han desarrollado biodigestores para granjas porcícolas o de ganado bovino, en los cuales se aprovecha el excremento de los animales anteriores con los siguientes propósitos:

- Producir combustible para las estufas domésticas de las zonas rurales de República Mexicana.
- Generar energía eléctrica.
- Obtener biofertilizantes para cultivos agrícolas.

Con el desarrollo de prototipos de biodigestores, las instituciones educativas antes mencionadas contribuyen en parte a mitigar la emisión de los GEI generados por la fermentación anaeróbica del excremento humano o animal.

Un ejemplo de lo anterior es la empresa mexicana Rotoplas, ha diseñado e implementado biodigestores para casas habitación o departamentos con el fin de evitar la contaminación atmosférica e hídrica, producida por la descomposición al aire libre del excremento humano, este biodigestor es una fosa séptica (Rotoplas, 2016).

La diferencia entre una fosa séptica y un biodigestor es la siguiente:

- La fosa séptica recibe constantemente las descargas de aguas residuales, hace un filtrado lo cual permite que el agua fluya al subsuelo y la materia orgánica se descomponga dentro del recipiente, su limpieza se hace cuando ésta se llena completamente (SAGARPA, 2012).
- El biodigestor no puede recibir de manera constante la descarga de aguas residuales, se llena hasta cierto nivel de excremento y agua y se cierra el recipiente, lo cual permite que las bacterias anaerobias descompongan el material orgánico, produciendo así el biogás que puede ser usado como combustible para estufas y generar energía eléctrica, entre otros propósito (SAGARPA, 2012).



En la UVM campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, el profesor César Gómez Beltrán desarrolló el primer sistema de generación, acondicionamiento, purificación y presurizado de biogás tipo portátil. Este prototipo pesa menos de 80 kg y ocupa un área de dos metros cuadrados, le permite contener por lo menos un 95% de CH<sub>4</sub> generado. Después de 15 días se inicia la extracción del biogás y se traslada al sistema de purificación y presurizado de CH<sub>4</sub>. El CH<sub>4</sub> se puede comprimir y envasar, por lo que puede ser utilizado en cualquier lugar, inclusive llevarlo a viviendas rurales o urbanas como un sustituto del GLP (Bautista, 2013).

En el Estado de México, la UACH trabaja en un proyecto de biodigestor que convertirá el excremento de 240 vacas en CH<sub>4</sub> para generar energía eléctrica, el proyecto costará 7.5 millones de pesos (Pascual, 2011).

Lo que se plantea es dar a conocer los diferentes proyectos de biodigestores que se han construido o se construirán en un futuro en el mundo y en México, ejemplo de lo anterior son los diferentes biodigestores que aprovechan el excremento no ruminal o de la materia orgánica que se utiliza para generar biogás. Algunos casos de biodigestores que aprovechan el excremento no ruminal son los siguientes:

- Matthew Mazzotta del MIT desarrolló e implementó el proyecto denominado Park Spark en la ciudad de Cambridge, Massachusetts, el cual consiste en un biodigestor que aprovecha el excremento de los perros para generar energía eléctrica (Sanz, 2010).
- En el parque de conservación Áfricam Safari en el estado de Puebla, México, aprovechan el excremento de los elefantes para generar electricidad (Lordméndez, 2015).
- En la Ciudad de México se llevó a cabo un proyecto denominado “Composcan”, el cual utiliza el excremento de los perros para producir energía eléctrica. (CONACYT, 2015).

- En el centro de acopio de nopal denominado “Villa Alta” de la alcaldía Milpa Alta en la Ciudad de México, se instalará un biodigestor para generar biogás a partir del desperdicio del nopal (Delegación Milpa Alta, 2015).

Los anteriores ejemplos sirven como modelos para desarrollar el AutoBioGen, el cual aprovecha el excremento humano.

## **2.4 Beneficios de un biodigestor**

Los biodigestores ayudan a disminuir de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera al reducir la emisión de  $\text{CH}_4$ , además de obtener los siguientes productos:

- Biogás para generar electricidad o usarlo como combustible para estufas.
- Abono orgánico para los cultivos.

Las aplicaciones del biogás a nivel doméstico han satisfecho las necesidades de cocción de alimentos, lo que evita la emisión libre de  $\text{CH}_4$  a la atmósfera mediante la biodigestión controlada de excremento.

Con el fin de mitigar la emisión de GEI, es importante reorientar la tecnología e introducir opciones no convencionales de energía que ayuden, tanto a minimizar la dependencia de los combustibles fósiles, como a reducir la deforestación que se lleva a cabo en las selvas tropicales y subtropicales para sustituirlas por pastizales.

En el capítulo tres se expone el diseño de un biodigestor que aprovecha la biodigestión anaerobia para reducir la emisión de GEI.

# **Capítulo III**

## **AutoBioGen**

### 3.1 Descripción y funcionamiento del AutoBioGen

Para colocar el AutoBioGen se debe evaluar el impacto ambiental, en los términos que indica la Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (SAGARPA, 2011). Existen restricciones muy específicas para la ubicación de los biodigestores de acuerdo a la SEMARNAT, entre la cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Evitar la cercanía de aeródromos de servicio público o aeropuertos.
- No ubicarlo dentro de áreas protegidas.
- Se deberá instalar a una distancia mínima de 500 m de cualquier núcleo poblacional, en caso de biodigestores con capacidad mayor a 500 kg de CH<sub>4</sub>.
- No ubicarlo en zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies, aluviales, fluviales, recarga de mantos acuíferos, zonas arqueológicas, fracturas o fallas geológicas.
- Colocar a una distancia mínima de 500 m respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo o de lagos y lagunas.
- Su localización debe quedar fuera de las áreas de inundación.
- Su límite respecto a cualquier pozo de extracción de agua es de 500 m.
- Ubicarlo a una distancia mínima de 7 m de profundidad respecto a un manto freático.

El diseño, producción e instalación del AutoBioGen ayudará a disminuir la emisión de CH<sub>4</sub> presente en el biogás, donde el 70% es CH<sub>4</sub> y 29% es CO<sub>2</sub> (IPCC, 2006). Además, disminuirá el consumo de energía eléctrica generada por CFE o la IP, y reducirá el consumo de GLP, también producirá bioabono y hará posible la climatización de la casa por medio de un zoclo térmico; asimismo, favorecerá el reciclaje del agua residual (**Figura 17**).

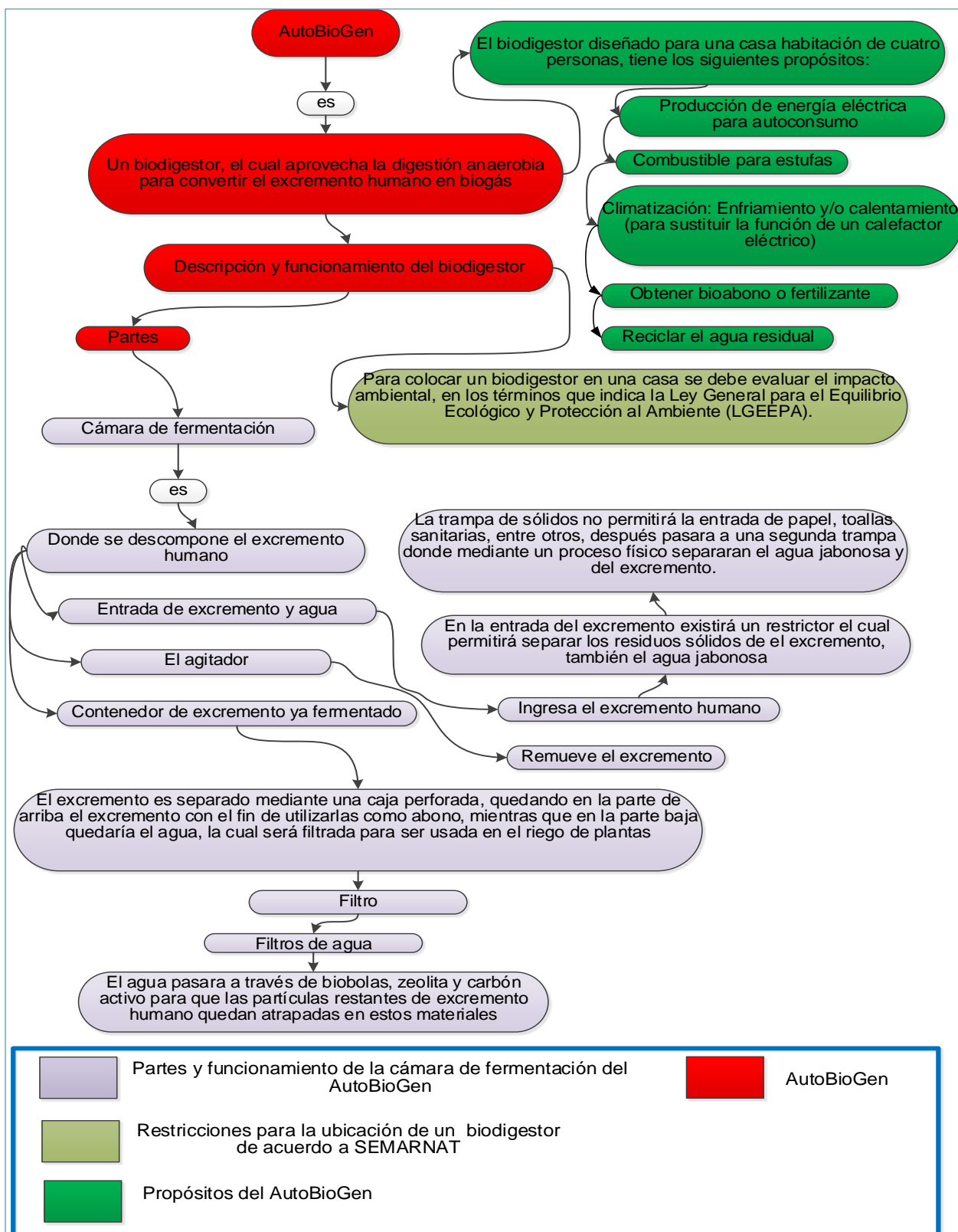


Figura 17. AutoBioGen. (Elaboración propia)

El AutoBioGen está automatizado con el fin de que operaciones rutinarias, como la cuantificación de la cantidad de biogás generado, no representen peligro alguno para los operarios de éste, maximizando la eficiencia de la fermentación anaeróbica adecuada para producir biogás (Pascual, 2011). Otra adecuación al diseño del AutoBioGen es la incorporación de un generador eléctrico, el cual está conformado por cinco placas peltier que generan electricidad al utilizar el efecto *seebeck*.

El AutoBioGen (**Figura 18 y Figura 19**) también prepara el excremento para que se use como abono y permite reutilizar el agua para regar los jardines. Esto es posible debido a que se emplea una caja de plástico perforada para separar el excremento y el agua; el excremento permanece en la parte superior mientras que, en la parte inferior, queda el agua. El agua pasa por un filtro de carbón activo, el cual se encarga de quitar los sobrantes del excremento con el fin reutilizarla en el riego de plantas del jardín.

Antes de que el biogás entre al contenedor, se colocará un filtro, el cual ayudará a retener otro tipo de gases provenientes de la fermentación anaeróbica, en específico el  $H_2S$  que, aunque es parte residual del biogás formado, resulta altamente corrosivo para los quemadores de la estufa doméstica.

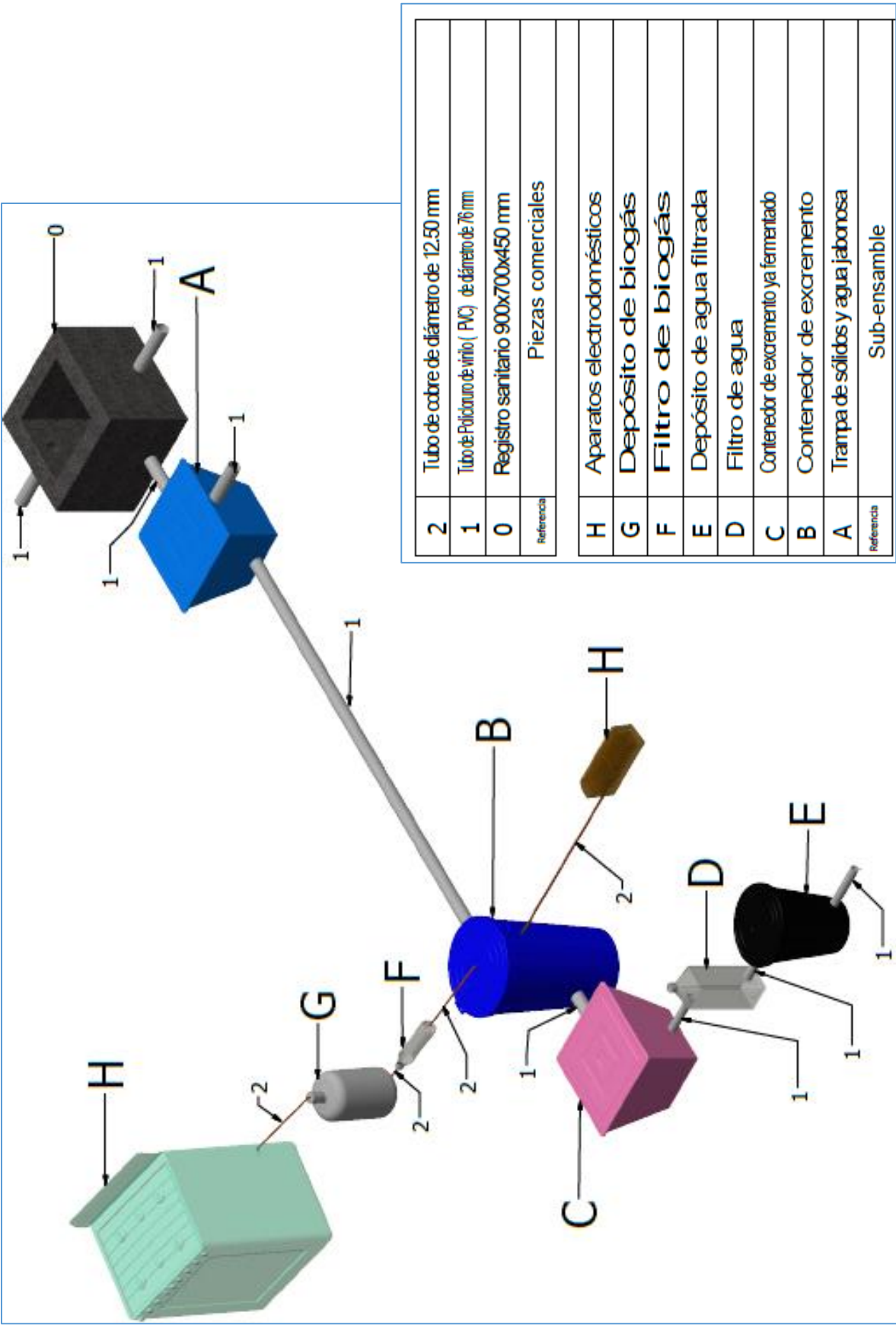
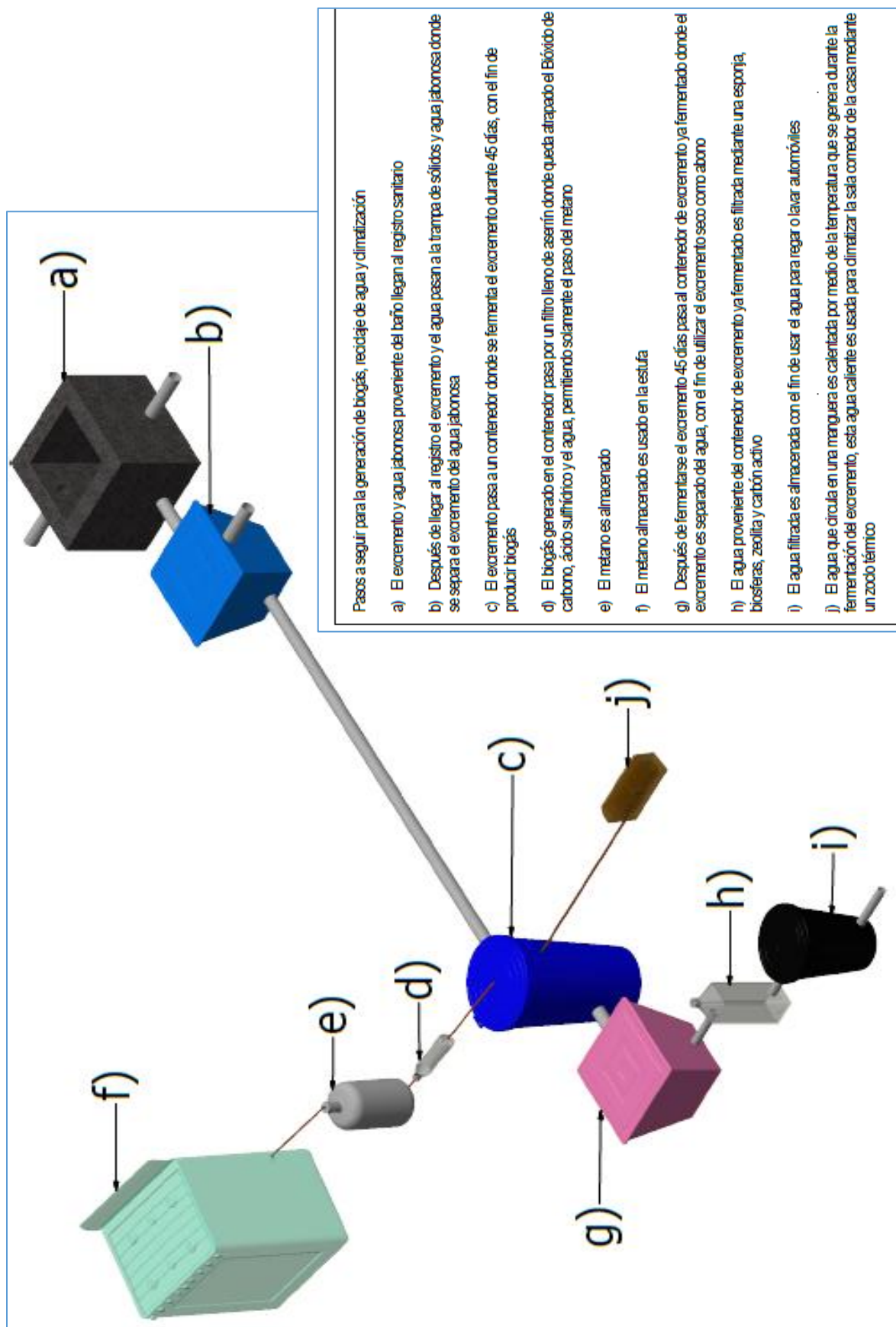


Figura 18. Componentes comerciales del AutoBioGen construido. (Elaboración propia)



**Figura 19.** Pasos a seguir para la generación de biogás, reciclaje de agua y climatización. (Elaboración propia)



El AutoBioGen trabaja con excretas humanas; se localizará a una distancia de 4 m respecto del baño de una casa habitación con capacidad para cuatro personas. Para iniciar el procedimiento, se deben pesar las excretas de las cuatro personas para obtener el promedio del excremento generado durante 45 días, con el fin de determinar las dimensiones del contenedor donde se fermentarán.

El excremento generado por cada sujeto que habita en la casa se pesó con una báscula de cocina (**Anexo 1**) durante 45 días, pidiéndoles a los sujetos participantes en el estudio que pesaran su excremento de forma directa (del 21 de septiembre al 03 de noviembre 2015) (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Característica físicas y excremento generado cada cinco días durante 45 días por cada sujeto que habita la casa. (Elaboración propia)

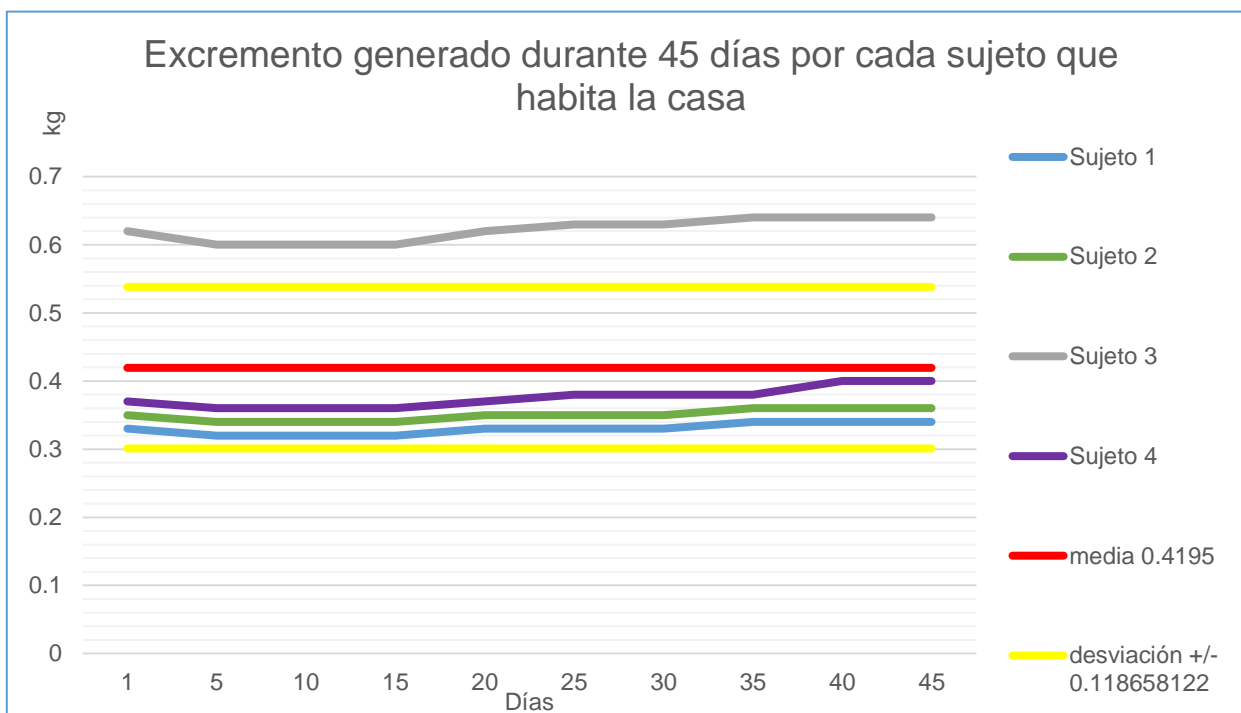
Características físicas de los cuatro sujetos										
Sujeto	Sexo				Edad			Peso (kg)		
Sujeto 1	Femenino				55			64		
Sujeto 2	Femenino				32			58		
Sujeto 3	Masculino				28			85		
Sujeto 4	Femenino				22			60		
Excremento generado cada cinco días durante 45 días (kg)										
Sujeto/días	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
1	0.330	0.320	0.320	0.320	0.330	0.330	0.330	0.340	0.340	0.340
2	0.350	0.340	0.340	0.340	0.350	0.350	0.350	0.360	0.360	0.360
3	0.620	0.600	0.600	0.600	0.620	0.630	0.630	0.640	0.640	0.640
4	0.370	0.360	0.360	0.360	0.370	0.380	0.380	0.380	0.400	0.400
media (kg)	0.4209									
varianza	0.01407975									
desviación	+/- 0.118658122									

La metodología para medir el excremento de cada sujeto fue la siguiente:

1. Se les pidió a los sujetos que, diariamente, durante 45 días, cada vez que fueran al baño a defecar utilizarán una bacinica.
2. Se les pidió a los sujetos que, tras defecar, pesaran el excremento contenido en la bacinica en una báscula de cocina.
3. Del peso que se obtuvo del excremento en la bacinica, se restó el peso de la bacinica previamente obtenido.

4. La cantidad del excremento medido tiene un error de +/- 0.01 g de acuerdo con las características de la báscula de cocina utilizada.

Como se observa en la Figura 20, el promedio del excremento generado por cada individuo depende de su metabolismo; los valores disminuyeron o se mantuvieron en los cuatro sujetos, esto se debe a que las cuatro personas ingieren casi los mismos alimentos.



**Figura 20.** Excremento generado durante 45 días por cada sujeto que habita la casa. (Elaboración propia)

Se obtuvo la media (promedio) y la desviación estándar, siendo la segunda la medida de dispersión más común, lo cual indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Los valores señalan que mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos.<sup>2</sup>

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N} \quad \sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N}$$

<sup>2</sup> El primer paso es calcular la media, el segundo paso es que a cada número se le resta la media y se eleva el resultado al cuadrado (la diferencia elevada al cuadrado) y por último se calcula la media de esas diferencias al cuadrado, con el fin de obtener la varianza, por último la desviación estándar que se calcula obteniendo la raíz cuadrada de la varianza

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

**Dónde: Media= x; Varianza= $\sigma^2$ ; Desviación estándar= $\sigma$**

Al medir el excremento se obtuvo como resultado que las cuatro personas, en promedio, producen 1.678 kg diarios de excremento. Sumados los 1.678 kg/día de excremento, en 45 días producen 75.51 kg de excremento, lo cual equivale a 5.66 m<sup>3</sup> de biogás [un kilogramo de excremento en 45 días produce 0.075 m<sup>3</sup> de biogás (Herrero, 2008)]. La velocidad de generación del biogás en el AutoBioGen se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Velocidad de generación de gas de acuerdo a los días de fermentación. (Herrero, 2008)

Días de Fermentación	10	20	30	45	Tasa de generación
Excretas humana	30.7%	71.5%	84.1%	100%	0.075 m <sup>3</sup> por cada kg de excremento

La mezcla de excremento es de 1:3 con agua para la carga diaria, de forma que la mezcla de carga sería 1.678 litros de excremento y, si le sumamos tres litros de agua, esto es igual a 4.678 litros de excremento y agua (Herrero, 2008).

Si la casa está en la región de San Luis Huexotla, Estado de México, con una temperatura media de 15 °C (Sistema Nacional de Información Municipal, 2013), debe tener un tiempo de retención de 45 días (Tabla 7).

**Tabla 7.** Tiempo de retención según la temperatura (Herrero, 2008)

Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
30	20
25	25
20	30
15	45
10	60

Conociendo la carga diaria y el tiempo de retención, el Volumen Líquido (VL) del biodigestor será (Herrero, 2008):

$$VL = \text{carga diaria} \times \text{tiempo retención}$$

$$VL \approx 4.678 \text{ litros} \times 45 \text{ días} \approx 210.51 \text{ litros}$$

De esta forma, resulta que el VL sería 210.51 litros.

Se asigna una campana de gas al biodigestor con la finalidad de que el gas generado tenga espacio suficiente en el mismo, lo que significa que la campana ocupará un tercio del VL, que corresponde al Volumen Gaseoso (VG) (Herrero, 2008):

$$VG = VL/3$$

$$VG \approx 210.51/3 \approx 70.17$$

Resultando un VG de 70.17 litros.

Finalmente, el Volumen Total (VT) será, por tanto, la suma de VL y VG (Herrero, 2008) es igual a 280.68 litros o 0.280 m<sup>3</sup>:

$$VT = VG + VL \approx 210.51 + 70.17 \text{ litros} \approx 280.68 \text{ litros o } 0.280 \text{ m}^3$$

De acuerdo con los resultados obtenidos, se requiere diseñar un biodigestor con una capacidad total de 280.68 litros o 0.280 m<sup>3</sup>.

### **3.1.1 Características técnicas del AutoBioGen para una casa de cuatro personas:**

- a. Forma de alimentación: continua.
- b. Temperatura de la fermentación: termofílica.
- c. Número de etapas: Una sola etapa.
- d. Cúpula: semifija.
- e. Cámara: cilíndrica.
- f. Posición respecto a superficie terrestre: semi enterrado, solo 30 cm sobre salen de la superficie.
- g. Capacidad necesaria del cilindro: 280.68 litros o 0.280 m<sup>3</sup>.<sup>3</sup>
- h. Material del biodigestor: polietileno (PE).
- i. Relación de excremento y agua: 1:3.
- j. Número de usuarios: 4.

---

<sup>3</sup> Un litro= 1 dm<sup>3</sup> = 0.001 m<sup>3</sup> (Giancoli, 2006)

El agitador es una parte importante de un biodigestor, debido a que permite mantener una mezcla heterogénea uniforme entre el excremento que ha iniciado el proceso de fermentación metanogénica y las nuevas descargas de excremento. Las aspas del agitador se moverán por la caída de la nueva descarga de excremento, para llevar a cabo la anterior acción se propuso utilizar el agitador de una lavadora (Herrero, 2008).

### **3.2 Construcción del AutoBioGen**

La metodología para la construcción del AutoBioGen contempla los siguientes puntos:

1. Localización de la casa habitación donde será instalado el AutoBioGen.
2. Características ambientales de la casa habitación determinándose como parámetros tales como temperatura, flora y fauna.
3. Determinar el tamaño de la muestra de estudio. La muestra de estudio debe ser homogénea desde el punto de vista social, además debe ser cerrada, es decir que durante el periodo de estudio no deben participar individuos con una historia diferente a la del grupo social en cuestión.
4. Proceso para la implementación del AutoBioGen de acuerdo con el análisis de la información y descripción de los parámetros evaluados en el punto dos y tres.
  - Cotizar el material.
  - Comprar el material.
  - Limpiar el lugar de maleza u otro material que impida la instalación del AutoBioGen.
  - Hacer la cavidad donde se instalará el AutoBioGen.
  - Realizar las conexiones necesarias para el funcionamiento del AutoBioGen.
  - Colocar el AutoBioGen en la cavidad correspondiente.
  - Poner en funcionamiento el AutoBioGen para su experimentación.

### 3.2.1 Localización de la casa donde se instaló el AutoBioGen

La casa donde se instaló el AutoBioGen se ubica en San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México (Figura 21) tiene las siguientes características geográficas:

- Dirección: calle Campesinos No. 2, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México, C.P. 56220.
- Coordenadas: 19° 28' 54.91" latitud norte; 98° 51' 30.51" longitud oeste; elevación de 2,321 m.
- Tamaño del terreno: 340 m<sup>2</sup>.
- Número de habitantes: cuatro personas.



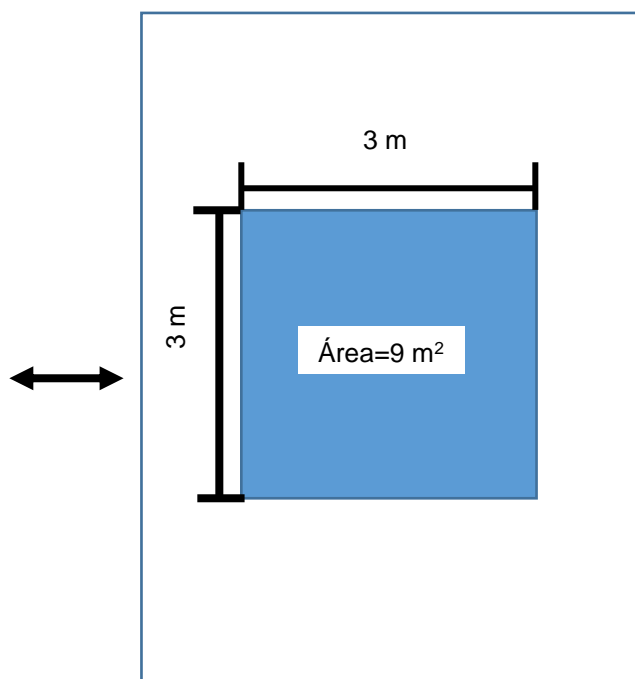
**Figura 21.** Localización de la casa habitación de cuatro personas. (Google earth, 2015)



En la Figura 22 se muestra la casa donde se instaló el AutoBioGen, mientras que en la Figura 23 se muestra el lugar que ocupa el AutoBioGen, así como también los  $\text{m}^2$  que mide el lugar.

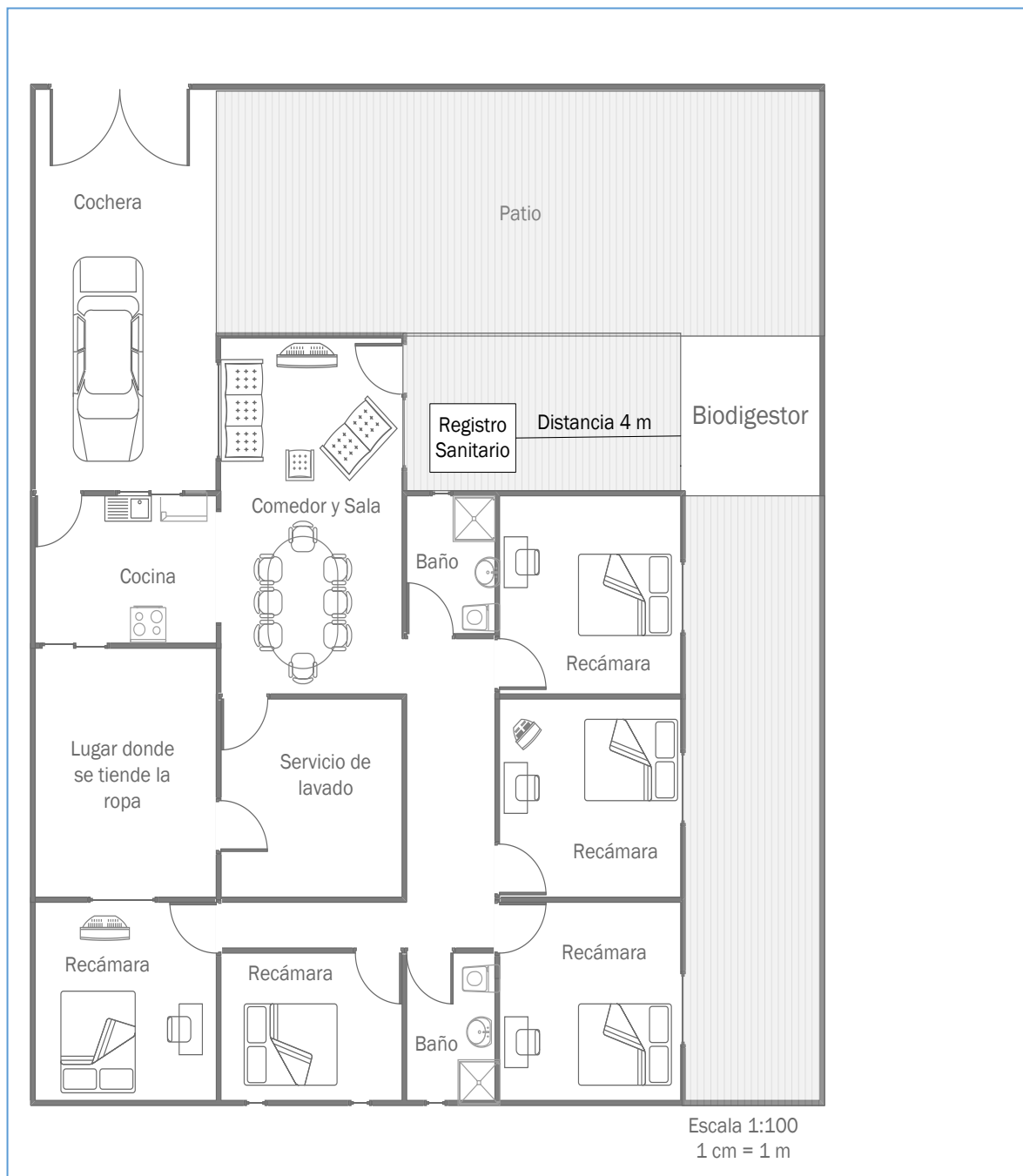


**Figura 22.** Casa habitación de cuatro personas. (Google earth, 2015)



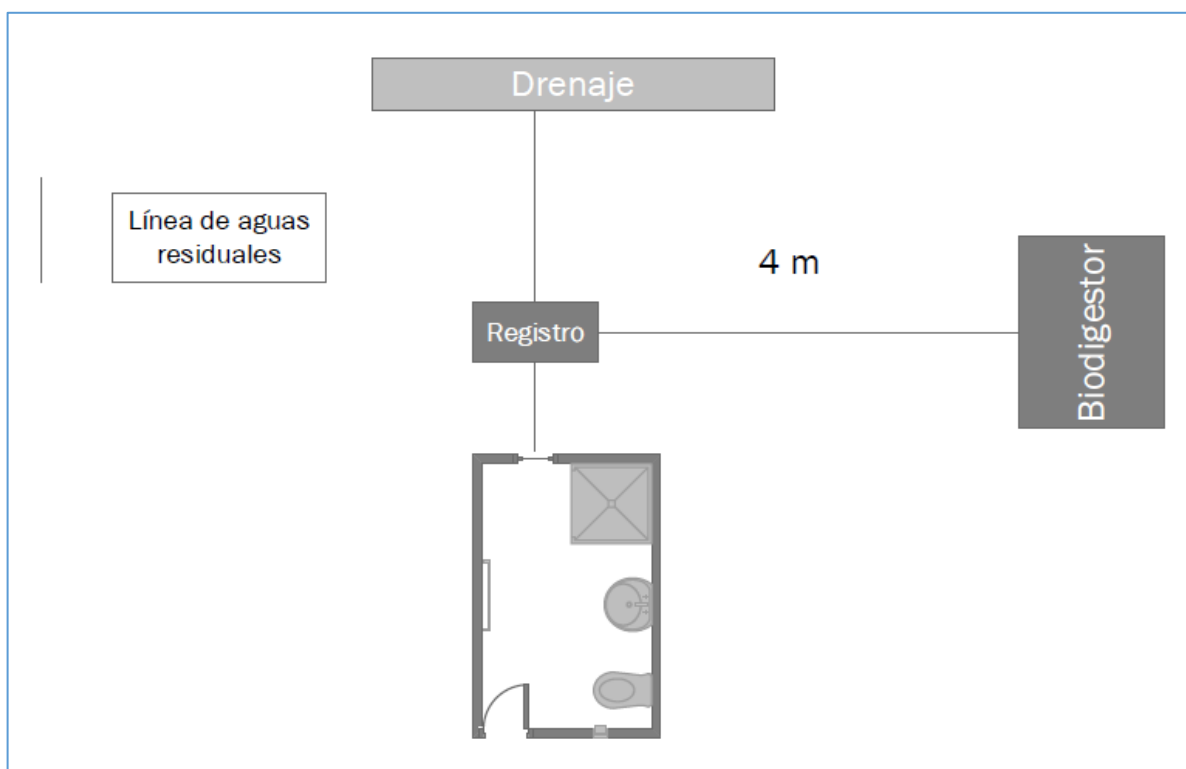
**Figura 23.** Lugar y medidas donde se instaló el AutoBioGen. (Elaboración propia)

Como se observa en las Figuras 24 y 25, el AutoBioGen se encuentra a un costado de la casa, a una distancia entre el registro sanitario y el contenedor de excremento de cuatro metros, lo que permite que las descargas de excremento lleguen al contenedor de fermentación.



**Figura 24.** Plano de la casa habitación de cuatro personas. (Elaboración propia)





**Figura 25.** Localización del AutoBioGen. (Elaboración propia)

### 3.2.2 Características ambientales de la zona donde será instalado el AutoBioGen

La temperatura promedio anual en San Luis Huexotla, Texcoco, en el Estado de México es de 15°C (Sistema Nacional de Información Municipal, 2013), la flora y la fauna del sitio mencionado y de la casa donde se instaló el AutoBioGen se presenta en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Flora y fauna localizada en San Luis Huexotla y en la casa en cuestión.  
(Sistema Nacional de Información Municipal, 2013)

	San Luis Huexotla	Lugar donde se instaló el AutoBioGen en la casa habitación de cuatro personas (Localizada en San Luis Huexotla)
<b>Fauna</b>		
Ardillas		
Cencuates		
Lagartijas		
Sapos		
Perros o gatos		
Ratas de campo		
<b>Flora</b>		
Eucalipto		
Nopales		
Pirul		
Zapote		
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #4f81bd; margin-right: 5px;"></div>           Si hay         </div>		

De acuerdo con la información anterior, la fauna que se encontró en el sitio dónde se instaló el AutoBioGen, no representó un peligro para su construcción, dado que las ratas de campo fueron controladas y exterminadas, utilizando trampas de pegamento de la marca H24 “Ratafin” y rodenticida de la marca Bayer “Racumin”. Si existieran animales domésticos, como perros o gatos, se tendría que poner una malla metálica para evitar la entrada de estos animales.

En el caso de la flora, no existen plantas o árboles que representaran riesgo alguno para el funcionamiento del AutoBioGen, dado que se trasplantó un arbusto de mísperos que se encontraba en el lugar, además se deshiero para poder colocar el AutoBioGen.

### 3.2.3 Tamaño de muestra

Como se ha señalado anteriormente, el AutoBioGen se localiza en una casa en la que habitan cuatro personas, en la Tabla 9 se presentan las características físicas de cada uno de los individuos que residen en la casa. Los datos experimentales obtenidos fueron del 21 de septiembre al 03 de noviembre 2015

**Tabla 9.** *Tamaño de la muestra de la casa. (Elaboración propia)*

Sujeto	Sexo	Edad	Ocupación	Peso (kg)	Realiz a algun a dieta	Cuántas veces al día va al baño	De esas veces que va al baño cuántas veces hace en otro sitio que no sea en la casa	De esas veces cuántas veces hace excremento	Promedio en kg de excremento por día
Sujeto 1	Femenino	55	Ama de Casa	64	No	5	Casi nunca solo cuando va a orinar	1	0.330
Sujeto 2	Femenino	32	Licenciada	78	No	4	Casi nunca solo cuando va a orinar	1	0.350
Sujeto 3	Masculino	28	Estudiante	85	Si	5	Casi nunca solo cuando va a orinar	2	0.622
Sujeto 4	Femenino	22	Estudiante	55	No	4	Casi nunca solo cuando va a orinar	1	0.376

De acuerdo con la Tabla 9, la persona con dieta produce más excremento que las otras tres personas. Lo anterior es debido a que lleva un régimen de control de peso determinado por un bariatra<sup>4</sup>. La dieta contempla evitar consumir de alimentos ricos en grasas saturadas e hidrogenadas; sal en exceso; productos elaborados con harinas

<sup>4</sup> “Un bariatra es un médico que se especializa en tratar la obesidad. El bariatra puede contemplar desde dietas específicas, terapias conductuales, uso de medicamentos, hasta procedimientos quirúrgicos conocidos como “cirugías bariátricas”, siempre y cuando el paciente sea candidato a un procedimiento de este tipo” (Leyva, 2017).

refinadas, a las cuales se les añade aditivos; colorantes artificiales; conservadores y potenciadores de sabores artificiales, así como azúcares en exceso, puesto que todos los productos anteriores provocan estreñimiento, lo cual dificulta la expulsión de excremento.

### 3.2.4 Implementación del AutoBioGen en la casa

De acuerdo a las características técnicas obtenidas anteriormente se compraron los siguientes materiales para la construcción del AutoBioGen (**Tabla 10**).

#### 1. Costo del material para la construcción.

**Tabla 10.** Costos del AutoBioGen construido 2015. (Elaboración propia)

Estimaciones	Cantidad	Costos Unitarios (pesos)	Costo por el proyecto (pesos)
<b>Material o equipo</b>			
Contenedor con tapa capacidad de 200 litros	1	\$250	\$250
Llanta de diablo de 177.00 mm	1	\$50	\$50
Tubo de neopreno de 12.5 mm x 300 mm de largo	1	\$5	\$5
Agitador reusado de lavadora MABE	1	\$200	\$200
Manguera de neopreno de 12.5 mm de diámetro x 2 m de largo	1	\$30	\$30
Caja con tapa capacidad de 68 litros y de 577x380x420 mm de largo, ancho y alto	2	\$117	\$234
Placas de plástico de 300 mm de ancho por 400 mm de largo	2	\$20	\$40
Caja con capacidad de 15 litros	1	\$20	\$20
Coplee de 50 mm	4	\$5	\$20
Coplee de 25 mm	4	\$3	\$12
Caja perforada de 280x70 mm	1	\$10	\$10
Botella de plástico con capacidad de 10 litros	1	\$20	\$20
Bote con tapa capacidad 80 litros	1	\$110	\$110
Botella de plástico capacidad 2 litros	1	\$10	\$10
Botellón de agua con capacidad de 20 litros	1	\$30	\$30
Tubería de PVC de 75 mm (el m)	10	\$33.33	\$333.30
Codo de PVC de 75 mm	10	\$6	\$60
Tubo de cobre tipo L de gas de 12.5 mm (el m)	6	\$70.96	\$425.76
Tubería de PVC de 12.5 mm (el m)	12	\$9.96	\$119.52
Carbón activo (kg)	10	\$40	\$400
Zeolita (kg)	5	\$35	\$175
Biosferas de plástico	100	\$4.50	\$450
<b>Equipo eléctrico</b>			

Multímetro	1	\$120	\$120
Termómetro digital	2	\$220	\$440
Medidor de pH	1	\$300	\$300
Arduino	1	\$170	\$170
Sensor de CH <sub>4</sub>	1	\$130	\$130
Resistencias	10	\$2	\$20
Placas peltier	5	\$150	\$750
Cable para circuitos electrónicos	4 metros	\$16	\$64
<b>Costo total</b>			<b>\$5,058.58</b>

2. El costo del proyecto AutoBioGen es de \$5,058.58 pesos, el cual al compararlo con el biodigestor autolimpiable marca Rotoplas de 600 litros tiene un precio de \$6,724.454 pesos, lo cual representa un ahorro del 24.77% con respecto al segundo, añadiendo valor agregado por las cinco actividades que lleva el primero, además de estar monitoreado automáticamente.

3. Para implementar el AutoBioGen en la zona seleccionada, se debe limpiar el lugar de maleza u otro material (Figura 26). Para llevar la anterior actividad se utilizaron los siguientes implementos:

#### Material

- Pala.
- Carretilla o bote.
- Guantes.
- Botas.
- Machete.

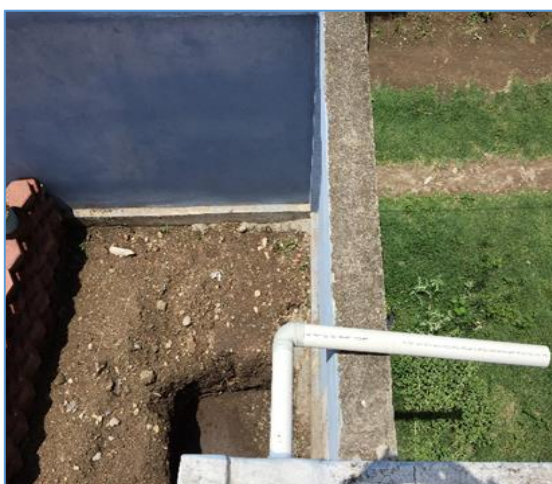


**Figura 26.** Antes y después de limpiar el lugar donde se colocó el AutoBioGen.  
(Elaboración propia)

4. En la Figura 27 se puede observar los pasos que se siguieron para evitar las inundaciones en el foso



1. Después de limpiar se quitó el material que obstaculizaba la construcción y se empezó a cavar el foso para colocar el AutoBioGen.



2. Se cambió de lugar el foso así como la bajada del agua de lluvia, con la finalidad de evitar una inundación del mismo. Se utilizó un codo y tubo de PVC de 75 mm de diámetro para desviar la bajada de agua.

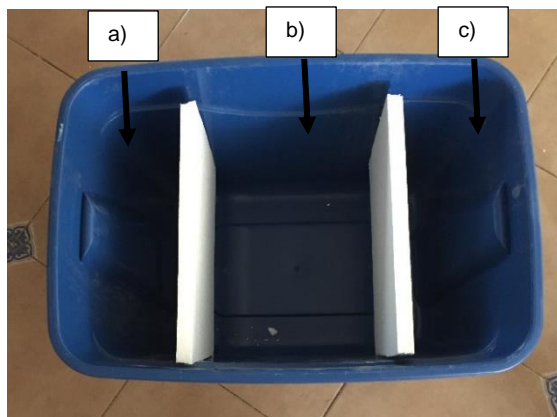
**Figura 27.** Antes y después del foso donde se colocó el AutoBioGen. (Elaboración propia)

5. Las partes que conforman al AutoBioGen son los siguientes:
- Trampa de sólidos y agua jabonosa.
  - Cámara de fermentación.
  - Contenedor del excremento ya fermentado.
  - Filtro de biogás.
  - Filtro de agua.

La trampa de sólidos (**Figura 28**) evitará la entrada de papel, toallas sanitarias, así como cualquier otro material indeseable, en tanto que la materia prima (excremento), pasará a un segundo compartimiento, donde se separa el agua jabonosa del excremento. En ese segundo compartimiento, el agua jabonosa va hacia el drenaje dejando en el fondo el excremento y agua sin jabón, estos dos últimos materiales pasan al contenedor de excremento donde se fermentará para generar tanto biogás y como abono. Esta trampa es necesaria dado que el agua jabonosa impide que las bacterias fermenten el excremento.



1. Caja de PE, con capacidad de 68 litros.

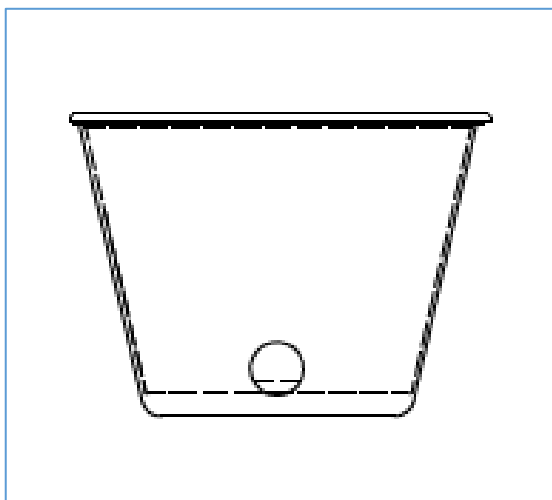


2. Se colocan las placas de plástico dentro de la caja.

La caja se divide en tres partes cuya función es la siguiente:

- a) El excremento y el agua jabonosa entran al compartimiento además de sólidos, estos últimos no pasan al segundo compartimiento.
- b) En el segundo comportamiento entra el excremento con el agua jabonosa. La placa no permite pasar el agua jabonosa al tercer compartimiento. El agua jabonosa queda en la parte superior donde se dirige al drenaje.
- c) En el tercer compartimiento está el excremento y pequeña cantidad de agua sin jabón, los cuales pasan a la cámara de fermentación.





3. Vista lateral de la trampa de sólidos y agua jabonosa.



4. Se conecta la trampa de sólido al registro sanitario mediante un tubo de PVC de 75 mm de diámetro.

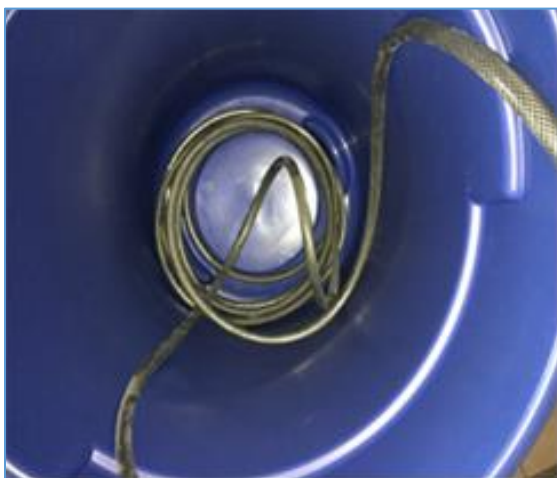
**Figura 28.** Trampa de sólidos y de agua jabonosa. (Elaboración propia)

En la Figura 29 se puede observar el proceso de construcción del contenedor de excremento (cámara de fermentación).



1. Se escogió un contenedor de PE con capacidad de 200 litros.

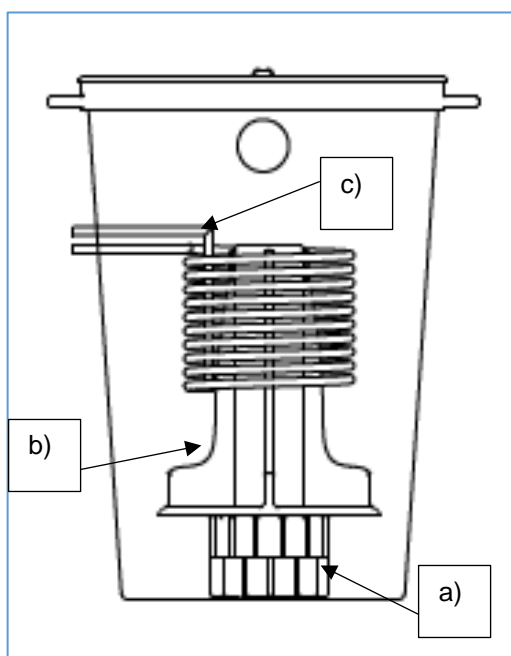
**Nota:** Se escogió este contenedor dado que la relación costo-capacidad fue la más razonable. Puesto que el contenedor de 300 litros su precio oscilaba entre los \$600 y \$800 pesos, incrementándose considerablemente, siendo que además que el tamaño excedía el área donde se instalaría.



2. Se colocó la manguera de PVC con un diámetro de 12.50 mm, con la finalidad de que circule agua dentro de la manguera la cual es calentada por la fermentación del excremento, siendo esta agua utilizada por el zoclo térmico para climatizar la sala comedor de la casa.



3. Se colocó el agitador de lavadora de 4 aspas sobre una llanta de neumático de 177.00 mm, el mecanismo funciona debido a que la llanta tiene un balero de 12.50 mm, el cual gira al transmitir el empuje del excremento al agitador, dado que está conectado mediante un eje de PVC al balero de la llanta de neumático.



4. Vista frontal de la cámara de fermentación y sus componentes que la integran.

- a) Una llanta de neumático o llanta diablo de 177.00 mm.
- b) Agitador de lavadora Mabe.
- c) Manguera de PVC.

**Nota: ver anexo 2 de planos del AutoBioGen construido.**

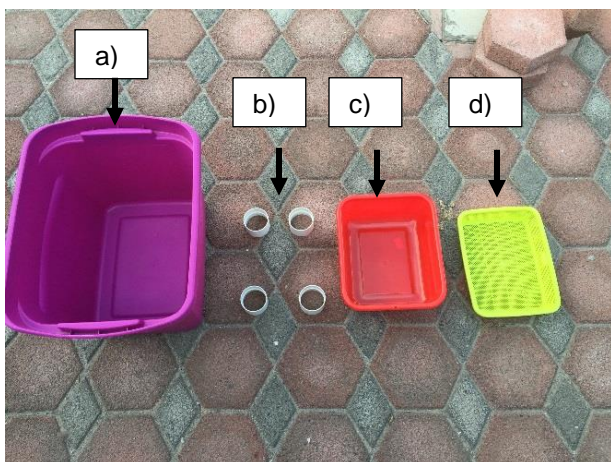




5. Se coloca la cámara de fermentación en el foso.

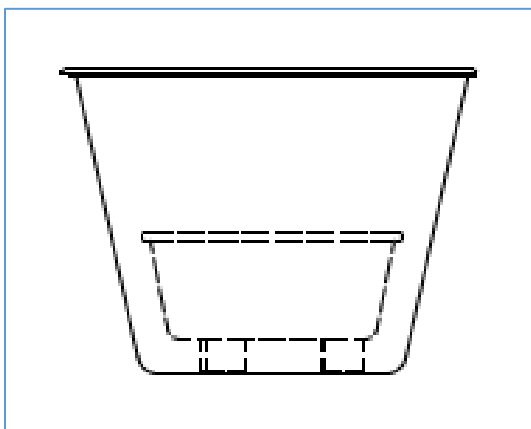
**Figura 29.** Construcción e implementación de la cámara de fermentación del AutoBioGen.  
(Elaboración propia)

El contenedor de excremento ya fermentado (**Figura 30**) (contenedor de abono), sirve para separar el agua del excremento en proceso de fermentación durante 45 días, con el fin de que éste sirva como abono para las plantas.



1. Los componentes que conforman el contenedor de abono son, de izquierda a derecha:

- a. Caja de PE con capacidad de 68 litros.
- b. Coples de PVC de 50 mm.
- c. Caja roja de PE, con capacidad de 15 litros.
- d. Caja amarilla perforada.



2. Vista lateral del contenedor de excremento ya fermentado.

**Nota:** Se utiliza un pegamento especial para pegar los coples de PVC al fondo de la caja con capacidad de 68 litros, mientras la caja roja se coloca sobre los coples sin ningún pegamento, y la caja amarilla se pone sobre la caja amarilla sin ningún aditivo especial.



3. Se unen los componentes con pegamento para tuberías de PVC.

**Figura 30.** Contenedor de excremento ya fermentado. (Elaboración propia)

Como se ha mencionado anteriormente, el biogás necesita ser filtrado para obtener  $\text{CH}_4$ . Mediante una botella de PET, llena con aserrín, se filtra el biogás quedando atrapado en este filtro el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . El filtro de biogás (**Figura 31**) contribuye a la obtención de 70% de  $\text{CH}_4$ , el cual es usado en la estufa doméstica.



1. Botella de PET con capacidad de 2 litros.



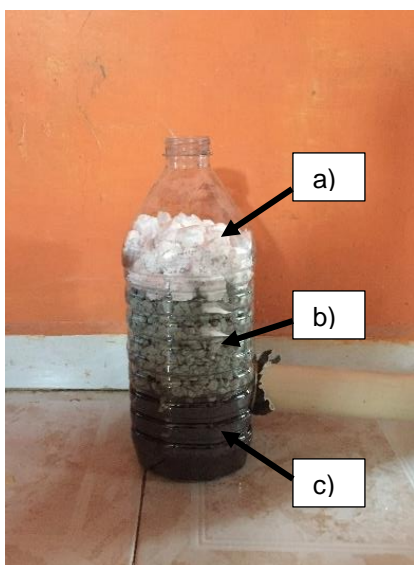
2. Se llena la botella con 1 kg de aserrín y se une el conector de CPVC--Cobre con los codos de cobre de 12.50 mm.

**Figura 31.** Filtro de biogás. (Elaboración propia)

El filtro de agua (**Figura 32**) sirve para separar el líquido que proviene del contenedor de excremento ya fermentado. El agua, con pequeñas cantidades de excremento, entra al filtro donde pasara a través de bioesferas, zeolita y carbón activo, así como arena para que las partículas queden atrapadas en estos materiales y salga el agua tratada.



1. Botella de PET con capacidad de 10 litros.



**Figura 32.** Filtro de agua. (Elaboración propia)

2. Se llena la botella de 10 litros con los siguientes materiales.

- a) 100 biosferas de plástico de 12.50 mm.
- b) 1 kg de zeolita.
- c) 1 kg de carbón activo.

En la parte superior y en el costado derecho se coloca un tubo de PVC de 50.00 mm

En la Figura 33 se observa la conexión de los diferentes componentes del AutoBioGen.



1. La cámara de fermentación se conecta a la trampa de sólidos mediante un tubo de PVC de diámetro de 76.00 mm x 3,000 mm de largo.





2. Se conectan la cámara de fermentación al contenedor de abono mediante un tubo de PVC de diámetro de 76.00 mm x 100 mm de largo.



3. Se conectan el contenedor de abono al filtro de agua mediante un tubo de PVC de diámetro de 50.00 mm x 100 mm de largo y un codo de PVC de 50.00 mm.



4. Se conectan el filtro de agua con el depósito de agua reciclada mediante un tubo de PVC de diámetro de 50.00 mm x 200 mm de largo y dos codos de PVC de 50.00 mm.



5. Se conectan el filtro de biogás con el contenedor de excremento mediante un tubo de cobre de diámetro de 12.50 mm x 2,000 mm de largo y dos codos de cobre de 12.50 mm.

**Figura 33.** Etapas de conexión del AutoBioGen (*Elaboración propia*)

### 3.3 Experimentación con el AutoBioGen construido

En el desarrollo de la metodología para la experimentación del AutoBioGen se contemplaron los siguientes puntos:

1. El muestreo de los lodos residuales de sistemas de biodigestión se llevó a cabo antes de entrar al AutoBioGen (afluente) y después del proceso de fermentación (efluente). Para su estudio y caracterización se realizaron los análisis pertinentes en el laboratorio Jenner. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como pH, temperatura, número de colonias coliformes, entre otros parámetros evaluados.
2. Cantidad de CH<sub>4</sub> generado de acuerdo con la temperatura de los días y estaciones del año en los que se empezó a medir (21 de septiembre al 03 de noviembre 2015).

Algunas pruebas para el muestreo de lodo residual se llevaron a cabo en el laboratorio antes mencionado con el propósito de que se analizaran algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los mismos, como fueron el número de colonias coliformes. En otros casos, se utilizaron instrumentos para medir la temperatura y el pH (Tabla 11).

El muestreo de los lodos residuales de sistemas de biodigestión se llevó a cabo de la siguiente forma:

- Antes de entrar al biodigestor (afluente).
- Después del proceso de fermentación (efluente).

**Tabla 11.** *Parámetros a evaluar y métodos a emplear. (Cerrato, et. al., 2010)*

Parámetro	Equipo y/o método a utilizar
pH	Potenciómetro (Lectura directa)
Colonias Coliformes	Laboratorio Jenner
Temperatura	Lectura interna con termómetro de reloj
Agitación	Agitador de lavadora marca MABE de 4 aspas
CH <sub>4</sub>	Medidor marca Binder
Tiempo de retención	45 días

En la Tabla 12 se presentan los datos obtenidos utilizando los diferentes instrumentos, midiendo los siguientes parámetros: a) la temperatura se utilizó un termómetro digital de cocina (**Anexo 3**), b) el pH se determinó con el medidor de *Ph Digital Phmetro* (**Anexo 4**) durante los 45 días en los que se realizó la fermentación del excremento. Además el excremento antes de entrar al biodigestor y después de la fermentación se analizaron las muestras en el laboratorio “Jenner”, la primera muestra de entrada fue del día 21 de septiembre y la muestra después de la fermentación fue del día 03 de noviembre 2015 para buscar las bacterias *E.coli* y *salmonella*, ya que son las más comunes en México (UNAM, 2018).

**Tabla 12.** *Mediciones de parámetros. Elaboración propia Laboratorios Jenner, 2015)*

Día	pH (influyente)	Temperatura excremento dentro del biodigestor (°C)	Temperatura excremento en la salida (°C)	Cantidad de biogás generado (m <sup>3</sup> )
1	7 (influyente)	45	No aplica	0.30
45	6 (efluente)	No aplica	50	1.51
Estudios de laboratorio				
Bacteria		Antes de entrar al biodigestor	Después de su fermentación	
<i>E. coli</i> 25/g		Negativo	Negativo	
<i>Salmonella</i> 25/g		Negativo	Negativo	
Coliformes		<3 (Valor normal)	<3 (Valor normal)	

### 3.3.2 Cantidad de CH<sub>4</sub> producido

Para determinar la cantidad de CH<sub>4</sub> generado, la cual varía de acuerdo con la temperatura ambiente, se utilizó el medidor de biogás portátil Binder GA-m4-mix (**Anexo A.5 y Anexo A.6**). Los cuatro sujetos produjeron en 45 días 75 kg de excremento, los cuales generaron 1.057 m<sup>3</sup> o 1,057 litros de CH<sub>4</sub> en 45 días (del 21 de septiembre al 03 de noviembre de 2015) (**Tabla 13**).

**Tabla 13.** CH<sub>4</sub> generado durante 45 días por los cuatro sujetos. (Elaboración propia)

Días	Cantidad de biogás generado (m <sup>3</sup> )	Días	Cantidad de biogás generado (m <sup>3</sup> )	Días	Cantidad de biogás generado (m <sup>3</sup> )
1	0.210	16	0.714	31	0.896
2	0.240	17	0.728	32	0.910
3	0.260	18	0.735	33	0.924
4	0.270	19	0.742	34	0.938
5	0.280	20	0.749	35	0.952
6	0.290	21	0.750	36	0.966
7	0.301	22	0.752	37	0.973
8	0.308	23	0.756	38	0.980
9	0.315	24	0.763	39	0.994
10	0.322	25	0.770	40	1.008
11	0.350	26	0.784	41	1.022
12	0.420	27	0.798	42	1.036
13	0.560	28	0.812	43	1.043
14	0.630	29	0.840	44	1.050
15	0.700	30	0.882	45	1.057
Total acumulado					1.057
media					0.706222222
varianza					0.073977778
desviación estándar					+/- 0.271988562

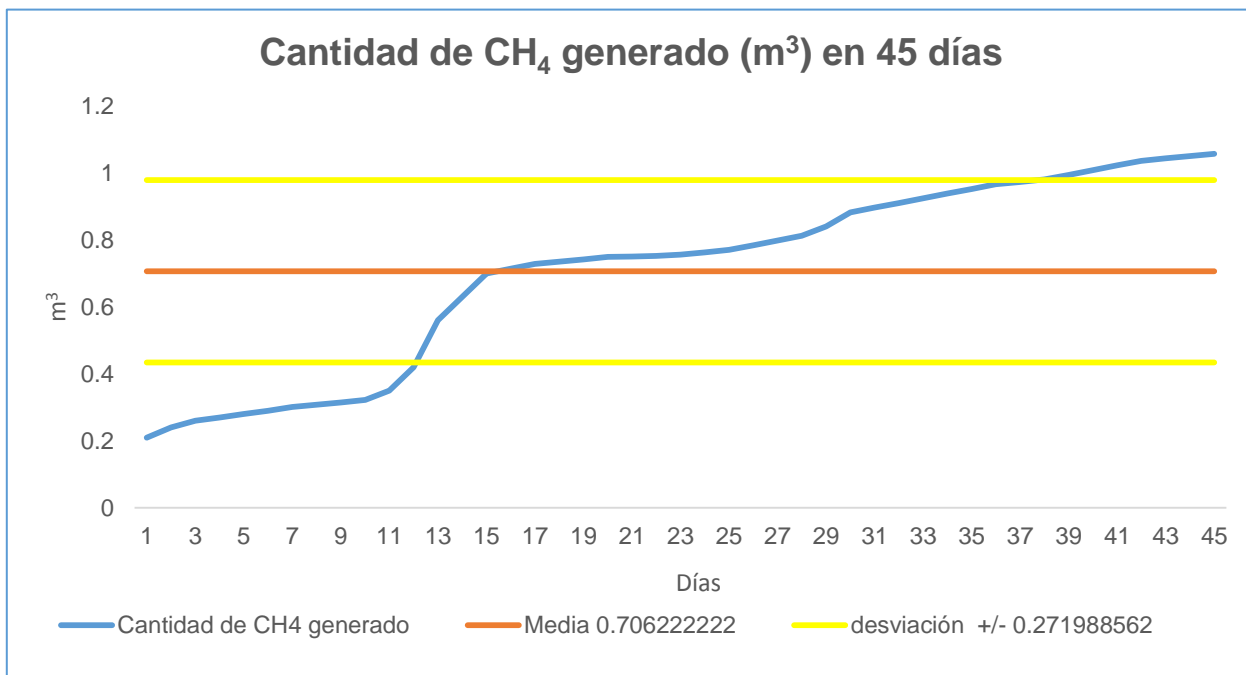
La metodología utilizada para medir el CH<sub>4</sub> generado por el excremento de los cuatro sujetos de estudio fue la siguiente:

1. Se midió el CH<sub>4</sub> generado por la fermentación del excremento generado, diariamente a las 3:00 pm, dado que en esa hora se produce la temperatura ambiente más elevada.
2. El CH<sub>4</sub> medido tiene un margen de error de +/-0.0001 m<sup>3</sup> de acuerdo con las características del medidor de biogás utilizado.

El CH<sub>4</sub> generado aumenta en los primeros 20 días, porque las bacterias fermentadoras utilizan enzimas y coenzimas que degradan la materia orgánica presente en el



excremento (Herrero, 2008). Durante los siguientes 25 días el proceso tiende a decrecer ya que las bacterias reducen al mínimo su actividad ya que la cantidad de sustrato que requieren disminuye considerablemente (Herrero 2008). De tal forma, el 80% de  $\text{CH}_4$  generado se obtendrá en los primeros 21 días (Figura 34).



**Figura 34.**  $\text{CH}_4$  generado durante 45 días por los cuatro sujetos. (Elaboración propia)

Se obtuvo la media (promedio) y la desviación estándar con el fin de medir el grado de dispersión o variabilidad.

### 3.4 Resultados de la implementación del AutoBioGen

Los impactos positivos para la casa habitación localizada en San Luis Huexotla Texcoco Estado de México son cinco:

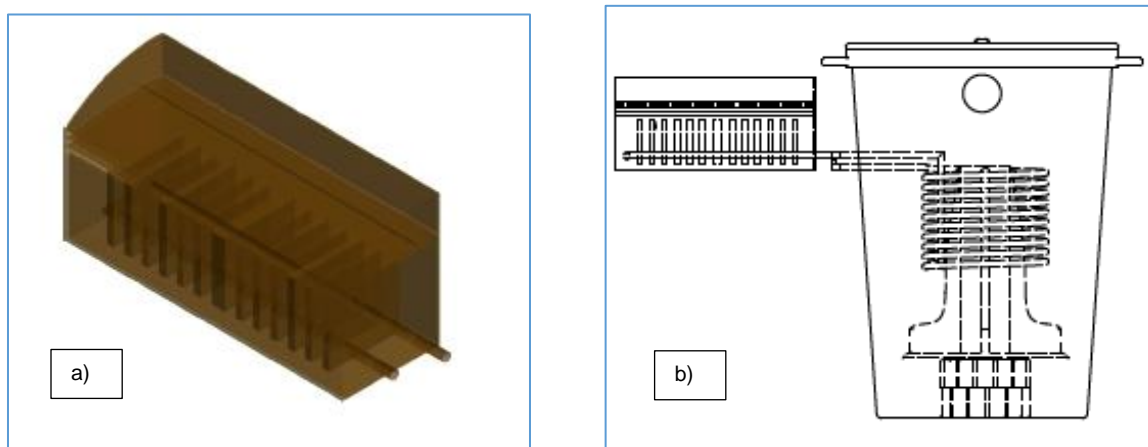
1. Reducción en el consumo de GLP, al utilizarse el biogás generado en el AutoBioGen.
2. Disminución en el consumo de electricidad, dado que se instalaron cinco placas peltier las cuales funcionan como un generador eléctrico. Las placas utilizan la temperatura de la manguera para producir electricidad.

3. La climatización de la casa se da al utilizar el calor generado dentro del AutoBiogen, para calentar agua que circula en una manguera. El agua se dirige a un zoclo térmico encargado de climatizar la sala comedor de la casa.
4. El excremento es utilizado como abono para su uso en el jardín de la casa.
5. El AutoBioGen ayuda a disminuir el desperdicio del agua, puesto que las aguas residuales recibirán un tratamiento, para que esta sea reutilizada en el jardín de la casa.

### 3.4.1 Climatización de la casa por medio del AutoBioGen

La definición de climatización en arquitectura es la de establecer las condiciones de temperatura, humedad e higiene del aire con el fin de obtener el confort y comodidad dentro de un espacio determinado (Figura 35).

La climatización de la sala de la casa en cuestión se logra mediante la colocación, de un zoclo térmico. Estos pueden ser colocados en los muros perimetrales o bajo las ventanas, calentando las habitaciones de manera estable y confortable. El agua proveniente de la manguera de PVC instalada dentro de la cámara de fermentación sale a una temperatura promedio de  $51.64^{\circ}\text{C}$ , esta agua va hacia el zoclo térmico instalado en la casa, la cual entra en la tubería dentro del zoclo y calienta las placas, transfiriendo estas el calor generado al aire circulante, el cual climatiza la casa.



**Figura 35.** Conexión de zoclo térmico con el contenedor de excremento: a) Zoclo térmico, b) Contenedor de excremento y al zoclo térmico. (Elaboración propia)

Las características del zoclo térmico son las siguientes

- Altura total: 19 cm.
- Profundidad total: 9 cm.
- Elemento radiante de aluminio.
- Conexión de cobre.
- Salida de aire caliente por convección.

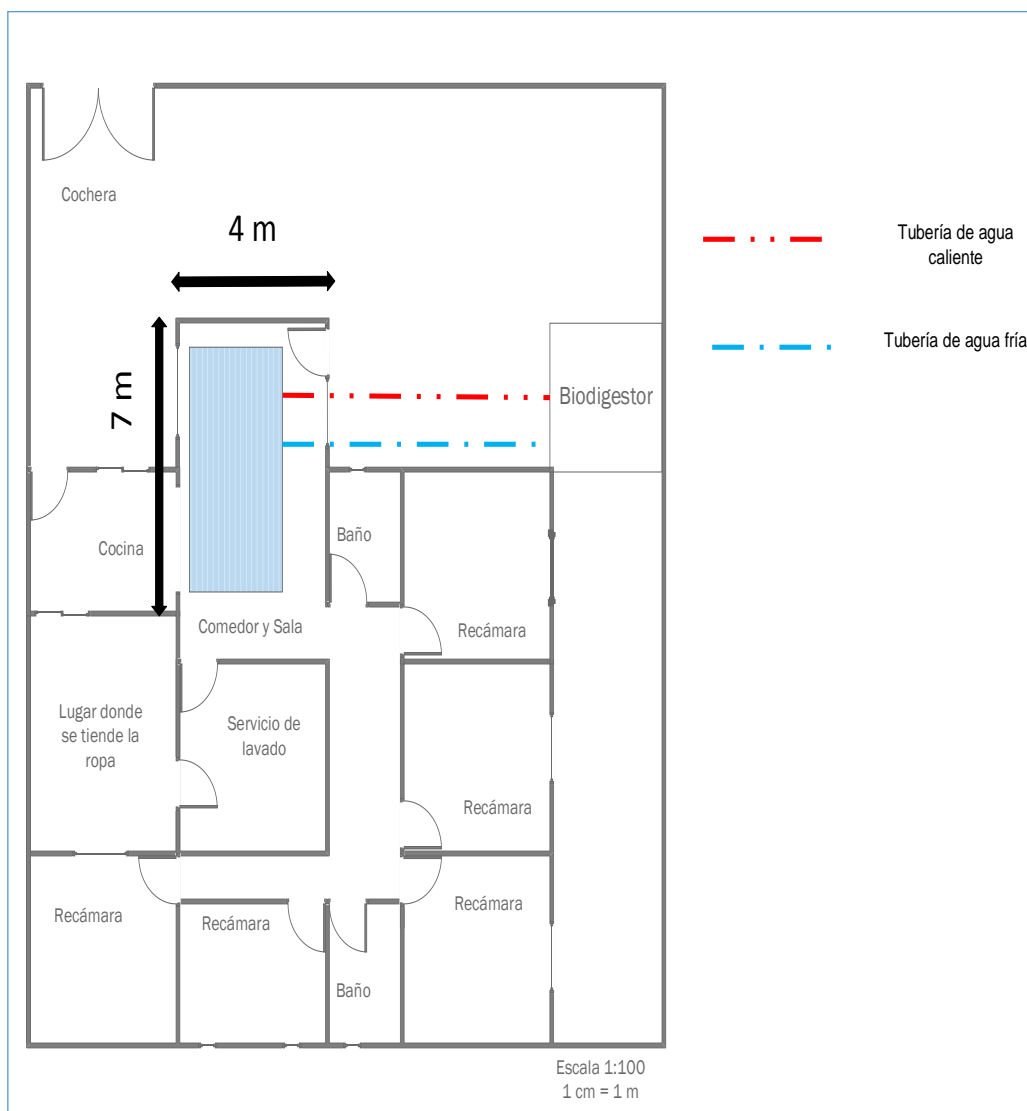
Por medio del zoclo circula el agua, la cual procede de la manguera de PVC que se instaló dentro del AutoBioGen, saliendo a una temperatura promedio de 51.64°C (Tabla 14), después de cumplir su propósito, el agua retorna al AutoBioGen para ser calentada otra vez (Figura 36).

**Tabla 14.** Temperaturas en el AutoBioGen. (Elaboración propia)

Día	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura dentro del AutoBioGen (°C)	Temperatura en la salida de la manguera (°C)	Temperatura en el retorno de la manguera (°C)
1	3:00 pm	23	45	55	25
2	3:00 pm	23	45	55	25
3	3:00 pm	22	45	55	25
4	3:00 pm	24	50	60	30
5	3:00 pm	23	45	55	25
6	3:00 pm	24	50	60	30
7	3:00 pm	22	40	50	20
8	3:00 pm	24	50	60	30
9	3:00 pm	23	45	55	25
10	3:00 pm	22	40	50	20
11	3:00 pm	24	50	60	30
12	3:00 pm	22	40	50	20
13	3:00 pm	23	45	55	25
14	3:00 pm	22	40	50	20
15	3:00 pm	22	40	50	20
16	3:00 pm	22	40	50	20
17	3:00 pm	22	40	50	20
18	3:00 pm	24	50	60	30
19	3:00 pm	24	50	60	30
20	3:00 pm	24	50	60	30
21	3:00 pm	21	39	49	19
22	3:00 pm	21	39	49	19
23	3:00 pm	21	39	49	19
24	3:00 pm	22	40	50	30
25	3:00 pm	21	39	49	19
26	3:00 pm	21	39	49	19
27	3:00 pm	21	39	49	19
28	3:00 pm	21	39	49	19

29	3:00 pm	21	39	49	19
30	3:00 pm	21	39	49	19
31	3:00 pm	20	35	45	15
32	3:00 pm	22	40	50	20
33	3:00 pm	21	39	49	19
34	3:00 pm	21	39	49	19
35	3:00 pm	21	39	49	19
36	3:00 pm	21	39	49	19
37	3:00 pm	21	39	49	19
38	3:00 pm	21	39	49	19
39	3:00 pm	22	40	50	20
40	3:00 pm	21	39	49	19
41	3:00 pm	21	39	49	19
42	3:00 pm	21	39	49	19
43	3:00 pm	21	39	49	19
44	3:00 pm	21	39	49	19
45	3:00 pm	21	39	49	19
media		21.91111111	41.64444444	51.64444444	21.86666667
varianza		1.280987654	17.20691358	17.20691358	18.64888889
desviación		+/- 1.131807251	+/- 4.148121693	+/- 4.148121693	+/- 4.318435931

La temperatura tomada dentro del AutoBioGen, en la salida y en el retorno de la manguera se utilizó el termómetro digital marca Bratenthermometer modelo JR-1 (**Anexo 3**) y la temperatura ambiente donde se instaló el AutoBioGen se empleó el termómetro marca Higrómetro digital LCD-reloj no-Mini (**Anexo 3**), durante 45 días que duró la fase experimental del 21 de septiembre al 03 de noviembre de 2015, la temperatura se tomó a las 3:00 pm dado que a esa hora se alcanzaba la máxima temperatura ambiente.



**Figura 36.** Climatización de la casa. (Elaboración propia)

### 3.4.2 Instalación de tubería para el CH<sub>4</sub> generado por el AutoBioGen en la casa

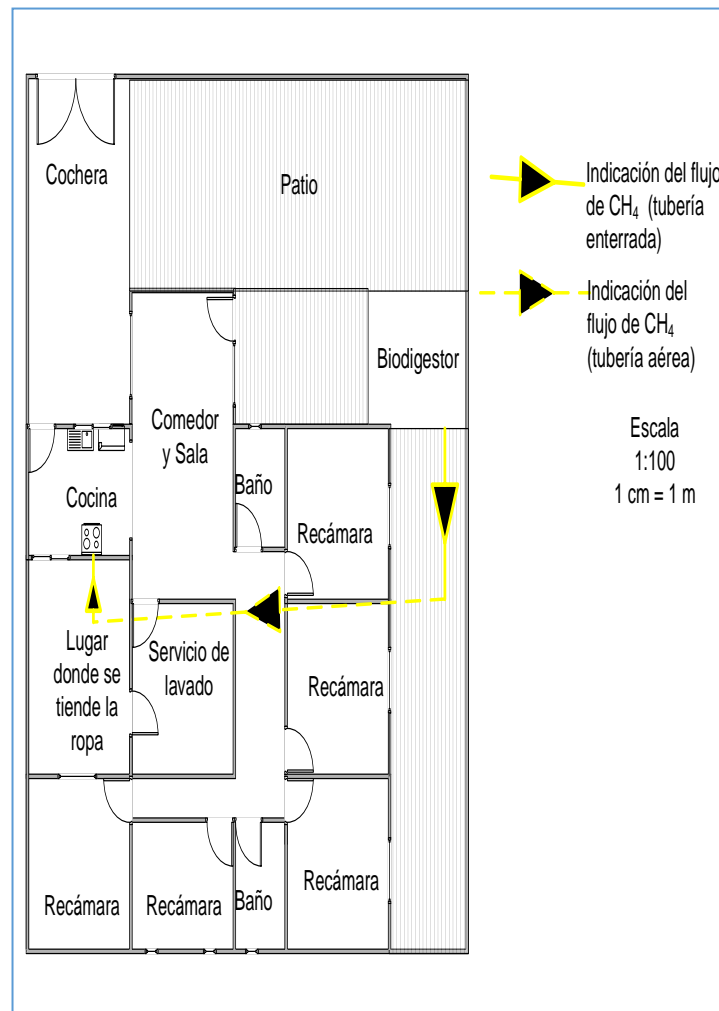
El CH<sub>4</sub> generado durante la fermentación del excremento humano en el AutoBioGen, puede ser utilizado para la estufa de GLP marca Mabe modelo em7682c de seis quemadores (**Figura 37**) (MABE, 2013).

Características de la estufa Mabe de GLP:

- Marca y modelo: Mabe em7682c
- Tipo de gas: GLP (m<sup>3</sup>/h)

- Presión del biogás en la estufa: 18 mbar
- Tiempo de consumo ( $\text{m}^3/\text{h}$ ): 0.0455
- Tipo de estufa: De piso
- Tamaño en pulgadas: 30"
- Número de quemadores: 6
- Precio: \$8,799.00 pesos

El AutoBioGen produce  $1.057 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4$  (cada 45 días), si se utiliza los  $1.057 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4$  para la estufa de GLP marca Mabe modelo em7682c, la cual requiere de  $0.0455 \text{ m}^3/\text{h}$  de  $\text{CH}_4$  (MABE, 2013), entonces al dividir  $1.057 \text{ m}^3$  de  $\text{CH}_4$  producidos entre los  $0.0455 \text{ m}^3/\text{h}$  requeridos por la estufa Mabe se obtiene 23.23 horas de  $\text{CH}_4$  disponibles.



**Figura 37.** Indicación del flujo de  $\text{CH}_4$  en la casa. (Elaboración propia)

Al quemarse el 100% del CH<sub>4</sub>, se generan dos gases: vapor de agua (H<sub>2</sub>O) y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los porcentajes que corresponden a cada gas son los siguientes un 66.66% y 33.33% de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> respectivamente. Esto significa que del 1.057 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> se produce 0.69762 m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>O y 0.34881 m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub>.

**Nota: Es necesario la presencia del oxígeno para la combustión del CH<sub>4</sub>, como se muestra en la siguiente reacción química.**

metano + oxígeno produce bióxido de carbono + agua



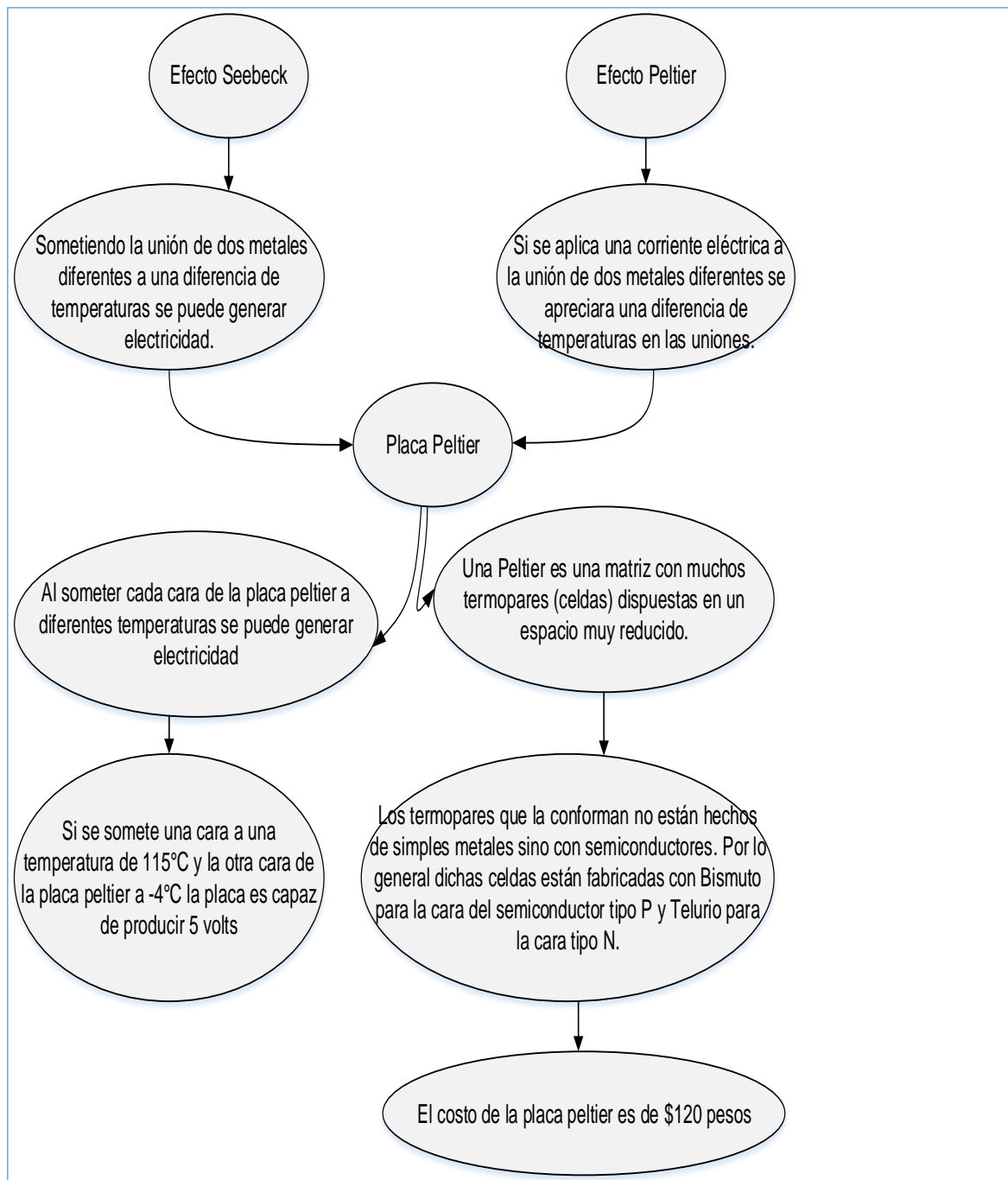
Al balancear la anterior reacción química se obtiene 1 mol de CO<sub>2</sub> (33.33%) y 2 moles de H<sub>2</sub>O (66.66%).



Anteriormente se mencionó que 1 kg de CH<sub>4</sub> equivale a 21 kg de CO<sub>2</sub>, de acuerdo a la CMNUCC (2006), al utilizar el CH<sub>4</sub> como combustible para la estufa doméstica se reduce los efectos generados por CH<sub>4</sub> en la atmósfera.

### 3.4.3 Autoconsumo de la energía generada por el AutoBioGen en la casa

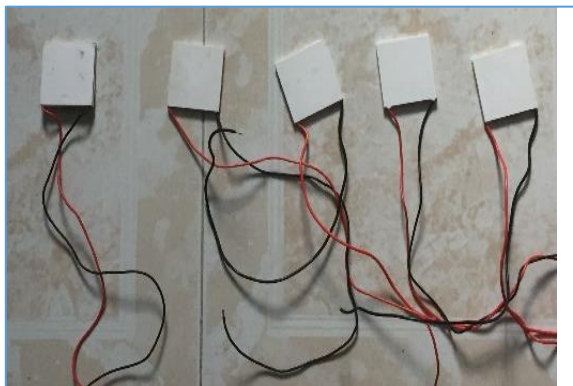
En la Figura 38, se explica detenidamente, el efecto seebeck en las placas peltier.



**Figura 38.** Efecto Seebeck y efecto peltier. (Elaboración propia con base en UNAM, 2007)



El lugar donde se colocan cinco placas peltier en salida del agua caliente y la entrada del agua fría de la climatización, con el fin de generar electricidad. (Figura 39)

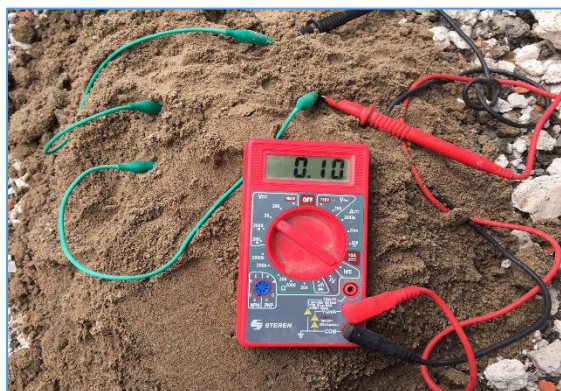


1. Se compraron cinco placas peltier con un voltaje de 5 volts cada una.



2. Se colocaron las cinco placas peltier en la manguera que lleva acabo la climatización. Se utilizó cinta para pegar tubos de PVC con el fin de fijar las placas a la manguera, además las placas se conectaron en paralelo para tener el mismo voltaje.

La temperatura de la manguera es trasmitida a las placas peltier para generar electricidad.



3. La manguera con las placas se enterraron con el fin de que el sol o la lluvia no dañaran las placas. Se midió el voltaje generado diariamente a las 3:00 pm mediante un multímetro modelo MUL-005

**Figura 39.** Localización de las placas peltier en la manguera de PVC. (Elaboración propia)

Después de colocar las placas peltier en la manguera se midió la electricidad generada mediante el multímetro marca compacto modelo MUL-005 (Anexo 7) y se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 15).

**Tabla 15.** Generación de electricidad. Fuente: Diseño propio (2015).

Día	Hora	Temperatura en la salida de la manguera (°C)	Temperatura en el retorno de la manguera (°C)	Volts generados por las cinco placa peltier (V)
1	3:00 pm	55	25	1.3
2	3:00 pm	55	25	1.3
3	3:00 pm	55	25	1.3
4	3:00 pm	60	30	1.5
5	3:00 pm	55	25	1.3
6	3:00 pm	60	30	1.5
7	3:00 pm	50	20	1.1
8	3:00 pm	60	30	1.5
9	3:00 pm	55	25	1.3
10	3:00 pm	50	20	1.1
11	3:00 pm	60	30	1.5
12	3:00 pm	50	20	1.1
13	3:00 pm	55	25	1.3
14	3:00 pm	50	20	1.1
15	3:00 pm	50	20	1.1
16	3:00 pm	50	20	1.1
17	3:00 pm	50	20	1.1
18	3:00 pm	60	30	1.5
19	3:00 pm	60	30	1.5
20	3:00 pm	60	30	1.5
21	3:00 pm	49	19	1
22	3:00 pm	49	19	1
23	3:00 pm	49	19	1
24	3:00 pm	50	30	1.5
25	3:00 pm	49	19	1
26	3:00 pm	49	19	1
27	3:00 pm	49	19	1
28	3:00 pm	49	19	1
29	3:00 pm	49	19	1
30	3:00 pm	49	19	1
31	3:00 pm	45	15	0.6
32	3:00 pm	50	20	1.1
33	3:00 pm	49	19	1
34	3:00 pm	49	19	1
35	3:00 pm	49	19	1
36	3:00 pm	49	19	1
37	3:00 pm	49	19	1
38	3:00 pm	49	19	1
39	3:00 pm	50	20	1.1
40	3:00 pm	49	19	1
41	3:00 pm	49	19	1
42	3:00 pm	49	19	1
43	3:00 pm	49	19	1
44	3:00 pm	49	19	1
45	3:00 pm	49	19	1
media		51.64444444	21.86666667	1.14 volts
varianza		17.20691358	18.64888889	0.0424
desviación		+/- 4.148121693	+/- 4.318435931	+/- 0.205912603

En promedio las placas peltier generaron 1.14 volts al día y si la resistencia de las cinco placas peltier es de 2 ohm, produciendo 0.0006498 kW/día (Giancoli, 2009).

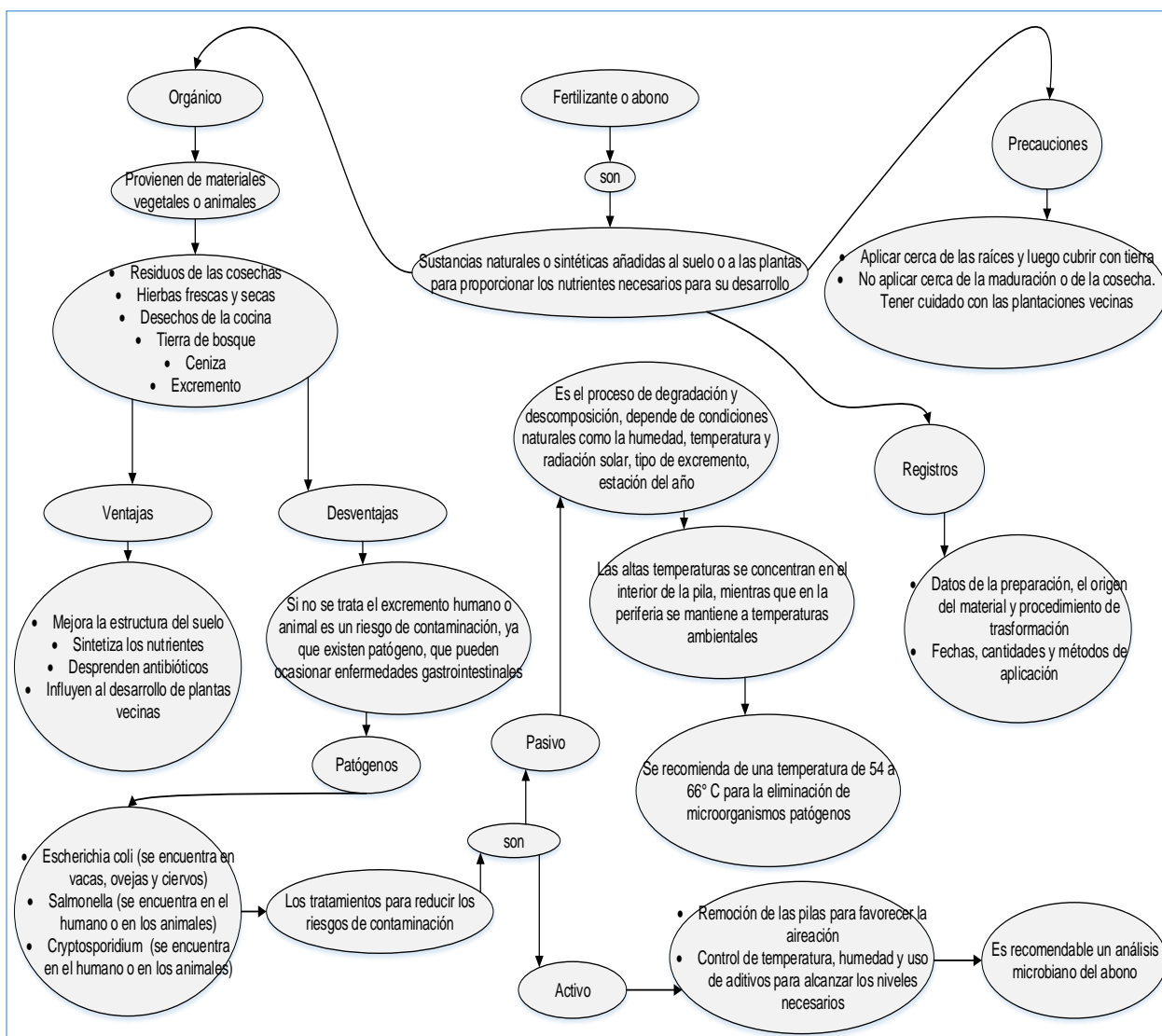
$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(1.14 \text{ volts})^2}{2 \text{ ohms}} \approx 0.6498 \text{ watts}; \text{ se convierten los watts (w) a kilowatts (kW)} \approx 0.0006498 \text{ kW}$$

Dónde: P= Potencial eléctrico; V=Voltaje; R=Resistencia

El ahorro de energía eléctrica generada mediante las cinco placas peltier en una casa habitación para cuatro personas, no se toma en consideración debido a que el ahorro es muy poco significativo, por lo que no se justifica la compra de las placas peltier.

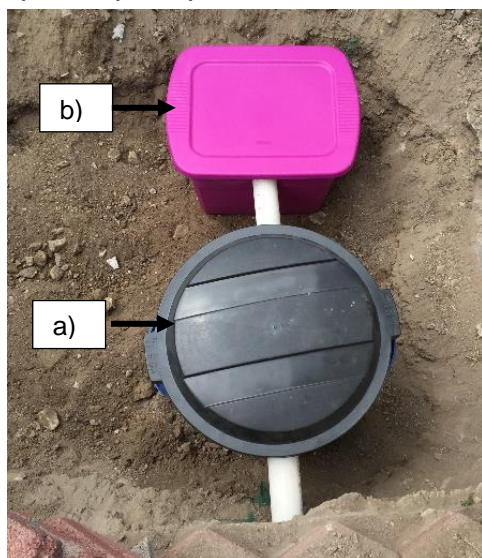
### 3.4.4 Biofertilizante o abono orgánico

El excremento ya fermentado es utilizado como abono para el jardín de la casa, el cual deberá llevar un proceso físico-químico para eliminar los microorganismos patógenos que pudiera tener éste. En la Figura 40 se explica que es un fertilizante orgánico y que proceso se debe llevar a cabo para ser empleado en la jardinería o en los cultivos.



**Figura 40.** Fertilizante o bioabono. (Elaboración propia con base en Gestión de la Calidad y BPA, 2013)

Los pasos para producir el abono son los siguientes (**Figura 41**):



1. Se conecta el contenedor de fermentación con el contenedor de excremento ya fermentado.

- a) El excremento se fermenta durante 45 días.
- b) Después de que el producto se haya fermentado, pasa al siguiente contenedor llamado contenedor de excremento ya fermentado



2. En los pequeños orificios de la caja amarilla de 28x28x7 cm de ancho, largo y alto respectivamente, que da el excremento mientras que el agua la deja pasar al fondo de la caja rosa, esta agua es llevada a un filtro para ser reciclada. El excremento atrapado en la caja con orificios es usado como abono para las plantas.



3. El abono proveniente del contenedor de excremento ya fermentado se utiliza como abono para las plantas.

**Figura 41.** Pasos para producir abono. (Elaboración propia)

El excremento después de ser fermentado durante 45 días, pasa al contenedor de excremento ya fermentado, depositándose en el mismo por cinco días, con el fin de eliminar las bacterias patógenas como *E. coli* y *salmonella*.

### **3.4.5 Reciclaje del agua residual**

Es importante que los hogares y personas tomen acciones concretas a nivel local, regional y nacional, para reducir progresivamente el consumo de agua. Si el agua que se recicla proviene del AutoBioGen se debe filtrar adecuadamente, con la finalidad de eliminar bacterias, y así poder volver a reutilizarla en el riego de las plantas.

Esto se logrará mediante el reciclaje del agua residual del AutoBioGen, utilizando el filtro de agua que haga posible lo anterior (**Figura 42**).

#### **Paso del agua dentro del filtro de agua**

- El agua con restos de excremento entra al filtro 1
- El agua pasa por una esponja
- El agua pasa por biosferas o biobolas
- El agua pasa por la zeolita
- El agua pasa por última vez por carbón activo para salir con un 70% de pureza.

#### **Materiales que conforman al filtro de agua:**

1. Contenedor de agua de 10 litros
2. Esponja
3. Biosferas
4. Zeolita
5. Carbón activo

Las instrucciones para armar el filtro de agua son las siguientes:





1. Botella de PET con capacidad de 10 litros.

Se coloca en el costado un tubo de PVC con un diámetro de 50.00 mm.



2. En el interior del tubo de PVC con un diámetro de 50.00 mm, se coloca una esponja para lavar carros con dimensiones de 50.00 mm de ancho x 50.00 mm de largo.



3. En el fondo de la botella se coloca 1 kg de carbón activo.



4. Después de colocar el carbón activo se agrega 1 kg de zeolita.



5. En la parte superior de la botella se colocan 100 biosferas de plástico de 12.50 mm.



6. En la boquilla de la botella se pone un tubo de PVC de 50.00 mm y adentro del tubo se coloca una esponja para lavar carros con dimensiones de 50.00 mm de ancho x 50.00 mm de largo.

**Figura 42.** Pasos del agua dentro del filtro de agua. (Elaboración propia)

Mediante el uso del medidor de sólidos de la marca *Tds Pureza y calidad de agua, termómetro sólidos ppm (Anexo 8)* se determinaron los sólidos dispersos en el agua, comprobándose que el filtro ayuda a reducir en 110 sólidos ppm mediante el filtro, puesto que el agua antes de entrar al filtro contiene 144 sólidos ppm y al salir del mismo, el agua depositada en el contenedor de agua filtrada tiene 34 sólidos ppm. En conclusión el filtro ayuda reducir un 76.38% de los sólidos disueltos.

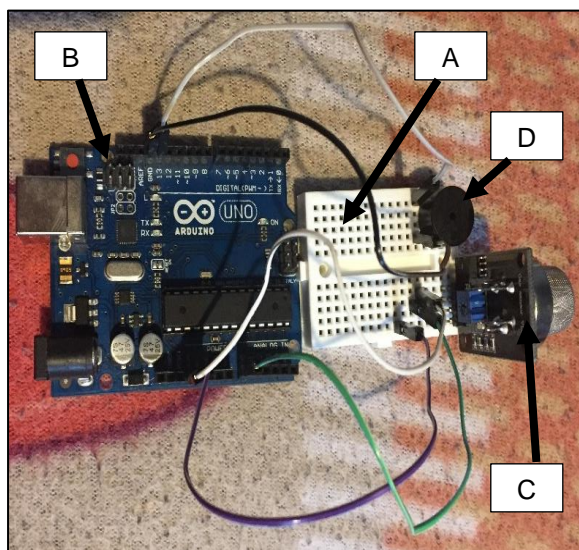
### 3.4.6 Monitoreo automatizado de variable CH<sub>4</sub>

La variable monitoreada en el AutoBioGen fue la cantidad de CH<sub>4</sub> generado dentro su contenedor. El monitoreo de CH<sub>4</sub> se llevó acabo por medio del Arduino Uno (el Arduino Uno sustituye al medidor de biogás portátil marca Binder Modelo GA-MA-MIX), con el fin de determinar si el CH<sub>4</sub> generado supera los límites establecidos puedan provocar un accidente (Figura 43).

**Nota:** La programación del ARDUINO uno se puede consultar en el Anexo 9.

Los materiales que se necesitan para desarrollar la alarma de CH<sub>4</sub> son los siguientes:

- A. Protoboard
- B. Arduino Uno
- C. Sensor de CH<sub>4</sub> modelo MQ4
- D. Zumbador activo



1. El zumbador activo se conecta al Arduino Uno de la siguiente forma:

- a) Positivo al PIN 13
- b) Negativo al PIN GND

2. El sensor de CH<sub>4</sub> modelo MQ4 tiene 4 patas y se conecta al arduino de la siguiente manera.

- a) primera pata llamada VCC se conecta al PIN de los 5 volts.
- b) Segunda pata llamada GND se conecta al PIN GND
- c) Tercera pata DO queda suelta
- d) Cuarta pata AO al PIN AO

**Figura 43.** Conexión de alarma de CH<sub>4</sub> por medio de un Arduino Uno. (Elaboración propia)



### 3.5 Consideraciones de manejo y mantenimiento sobre el AutoBioGen

- No descargar al AutoBioGen sustancias químicas como cloro, amoníaco, sosa, ácido, pintura, aceite y grasa de coche, entre otras, dado que estas, pueden reducir la efectividad del AutoBioGen.
- No perforar el AutoBioGen.
- No fumar, jugar o realizar reuniones en el área donde se localiza el AutoBioGen.
- En caso de tener niños, se debe estar pendiente de ellos, para que no entren al lugar donde se encuentra el AutoBioGen o colocar una malla metálica de protección, para evitar el ingreso de los mismos.
- En caso de tener animales, se debe colocar una malla metálica para evitar el ingreso de éstos en el área donde se localiza el AutoBioGen.
- En caso de presentarse una fuga reportar inmediatamente al cuerpo de bomberos.
- Colocar un extintor en caso de un accidente.
- No darle otros usos al AutoBioGen más que para los que fue diseñado.
- Efectuar el proceso de purgación del AutoBioGen cada año.
- Cuando se abra la tapa del AutoBioGen para inspeccionar o para purgación se debe dar una hora para tener una adecuada ventilación, debido a que los gases acumulados pueden causar explosiones o asfixia.
- Nunca utilizar cerillos o encendedores, entre otros para inspeccionar el AutoBioGen.
- Cuando se purgue el AutoBioGen no se debe extraerse la totalidad de los lodos residuales.
- No debe lavar ni desinfectar el AutoBioGen después de la extracción de los lodos.
- El AutoBioGen debe inspeccionarse cada dos meses para observar su funcionamiento.

# **Capítulo IV**

## **Resultados**

Un biodigestor es un dispositivo que desde el siglo XVIII ha sido utilizado con fines energéticos, siendo que a partir de mediados del siglo XX, se añadió a su uso, el control de las emisiones de GEI como es el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{CO}_2$ , los cuales contribuyen a intensificar el CC. Aunque ya existen propuestas de biodigestores más eficientes, en la actualidad estos son de costo elevado. El funcionamiento del AutoBioGen es sencillo, puesto que el biogás generado por el excremento de cuatro personas en una casa es utilizado como combustible para una estufa, en tanto que con los residuos sólidos del excremento se produce bioabono, añadiendo el reciclaje del agua residual proveniente del baño y el uso del incremento de la temperatura dentro del AutoBioGen para climatizar la sala comedor, además de producir electricidad.

Se ha venido señalando la utilidad y conveniencia de usar el AutoBioGen para reducir las emisiones de GEI y producir energía eléctrica limpia, es decir, como un protector del medio ambiente y aunque este aspecto es muy importante, existen otros dos rubros: el estético y el económico, aspectos en los que son sustanciales los beneficios que aporta el AutoBioGen.

#### **4.1 Ambiental**

El objetivo de estas consideraciones, es señalar los impactos positivos y negativos sobre el medio ambiente, siendo un ejemplo del impacto negativo, una explosión del mismo por la acumulación de  $\text{CH}_4$ , lo anterior sucedería si no se siguen las estrictas reglas de manejo y operación. Para evitar lo anterior se deberán seguir las recomendaciones siguientes:

- Solo personal autorizado podrá instalar y dar mantenimiento tanto preventivo como correctivo al AutoBioGen.
- Las condiciones generales y específicas de seguridad del AutoBioGen deben ser conocidas por los habitantes de la casa.

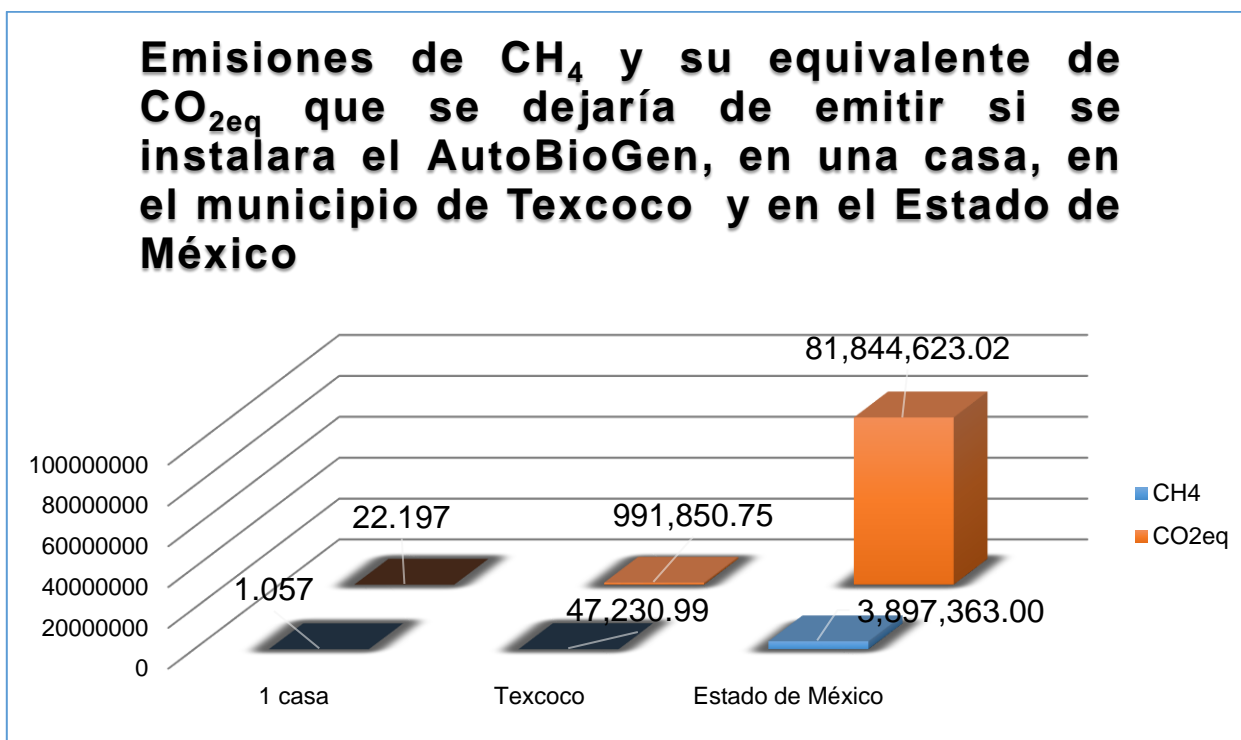
El utilizar los protocolos de seguridad, para la operación y mantenimiento del AutoBioGen, minimizaran los potenciales riesgos de estallido e incendio por acumulación de  $\text{CH}_4$ . Si el producto se planea fuera del contexto de la generación de energía eléctrica para una

casa, este deberá cumplir con ciertos requerimientos legales. Para conocerlos se realizó una investigación acerca de los ordenamientos jurídicos pertinentes en este caso, y evitar así, transgredir alguna ley que afecte a los potenciales consumidores del AutoBioGen. El marco regulatorio del sector eléctrico abarca los ordenamientos jurídicos y legales aplicables a las actividades de generación, conducción, distribución, abastecimiento, importación, exportación y transformación de energía eléctrica, se encuentran determinadas, por la LGEEPA (SAGARPA, 2011).

La implementación del AutoBioGen ayuda a la reducción en las emisiones de CH<sub>4</sub>, ya que dentro del AutoBioGen se genera 1.057 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> que no se emite a la atmósfera, lo cual equivale a 22.197 m<sup>3</sup> de CO<sub>2eq</sub> (1 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> corresponde a 21 m<sup>3</sup> de CO<sub>2eq</sub> de acuerdo a la CMNUCC [2006]). Por lo tanto en una casa habitación de cuatro personas se dejarían de emitir 22.197 m<sup>3</sup> de CO<sub>2eq</sub> cada 45 días. Si en el municipio de Texcoco existen 44,684 viviendas (INEGI, 2010) cada una de ellas con un promedio de cuatro habitantes, entonces si una casa deja de emitir 1.057 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>, si lo multiplicamos por 44,684 de viviendas se dejarían de emitir 47,230.988 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> (991,850.748 m<sup>3</sup> de CO<sub>2eq</sub>) cada 45 días. Si en el Estado de México existen 3,687,193 de viviendas cada una de ellas con un promedio de 4.1 habitantes (INEGI, 2010). Si multiplicamos 1.057 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>, por 3,687,193 de viviendas se dejarían de emitir 3,897,363.001 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> (81,844,623.021 m<sup>3</sup> de CO<sub>2eq</sub>) cada 45 días (Tabla 16, Figura 44).

**Tabla 16.** Emisiones de CH<sub>4</sub> y su equivalente de CO<sub>2eq</sub> que se dejaría de emitir si se instalara el AutoBioGe en una casa, en el municipio de Texcoco y en el Estado de México. (Elaboración propia)

Emisiones de CH <sub>4</sub> y su equivalente de CO <sub>2eq</sub> que se dejaría de emitir si se instalara el AutoBioGen, en una casa, en el municipio Texcoco y en el Estado de México		
Zona	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2eq</sub>
1 casa	1.057 m <sup>3</sup>	22.197 m <sup>3</sup>
Texcoco (44,684 casas)	47,230.988 m <sup>3</sup>	991,850.748 m <sup>3</sup>
Estado de México (3,687,193 de casas)	3,897,363.001 m <sup>3</sup>	81,844,623.021 m <sup>3</sup>



**Figura 44.** Emisiones de  $\text{CH}_4$  y su equivalente de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  que se dejaría de emitir si se instalara el AutoBioGen, en una casa, en el municipio de Texcoco y en el Estado de México. (Elaboración propia)

Además de reducir el  $\text{CH}_4$  arrojado a la atmósfera, el AutoBioGen ayudara a utilizar el residuo del excremento ya fermentado como abono, para ser empleado en las plantas del jardín o macetas que se encuentren en la casa habitación. El excremento ya fermentado que está en el AutoBioGen, se recogerá cada 45 días.

Un ejemplo de lo anterior es que actualmente investigadores como Arno Rosemarin, del programa EcoSanRes del Instituto de Estocolmo por el Medioambiente, está involucrado en varios proyectos desde 2011 a la fecha, para ayudar a las comunidades a mejorar sus sistemas sanitarios ecológicos y a la vez, utilizar la orina y el excremento humano como recursos valiosos para la fertilización de cultivos básicos (Henríquez, 2011). La orina humana es un fertilizante efectivo, rico en nitrógeno, fósforo y potasio. Un año de orina de un adulto, puede servir de abono en el cultivo de un área de unos 300 o 400  $\text{m}^2$  como se ha demostrado en diversos estudios llevados a cabo en Nigeria. El excremento tratado y las aguas residuales también pueden ser utilizadas de forma efectiva como fertilizante (Henríquez, 2011).

Muchas comunidades no tienen acceso a ningún tipo de fertilizantes químicos, por lo que los residuos orgánicos de origen humano pueden ser de gran utilidad en especial para los agricultores de subsistencia (Henríquez, 2011).

## 4.2 Estético o visual

El impacto visual del AutoBioGen en la casa es mínimo, dado que estaría semi enterrado sobresaliendo 30 cm de la tapa del cilindro con capacidad de 300 litros. También cumple con las normas ambientales previstas, por lo que estéticamente la casa no va a sufrir ninguna transformación, pero si serían palpables los beneficios consecuentes con la instalación y uso del AutoBioGen, ya que disminuirá la emisión de GEI y se obtendrán ahorros en el consumo de gas y electricidad.

De acuerdo al experimento realizado en el capítulo tres de la tesis se diseñó el AutoBioGen para la casa con cuatro personas, partiendo de los datos obtenidos en dicho experimento, se determinaron las dimensiones de cada una de las diferentes partes del proyecto.

Los sub-ensambles que se diseñaron son los siguientes:

- Contenedor de excremento (Contenedor de fermentación).
- Depósito de agua reciclada.
- Filtro de biogás.

Las demás partes o piezas como son el registro sanitario, tubo de PVC, tubo de cobre, zoclo térmico, estufa y depósito de biogás son de marcas comerciales conocidas, por lo que no requieren de diseño específico. En la Figura 45 se muestra el ensamble general del AutoBioGen diseñado.

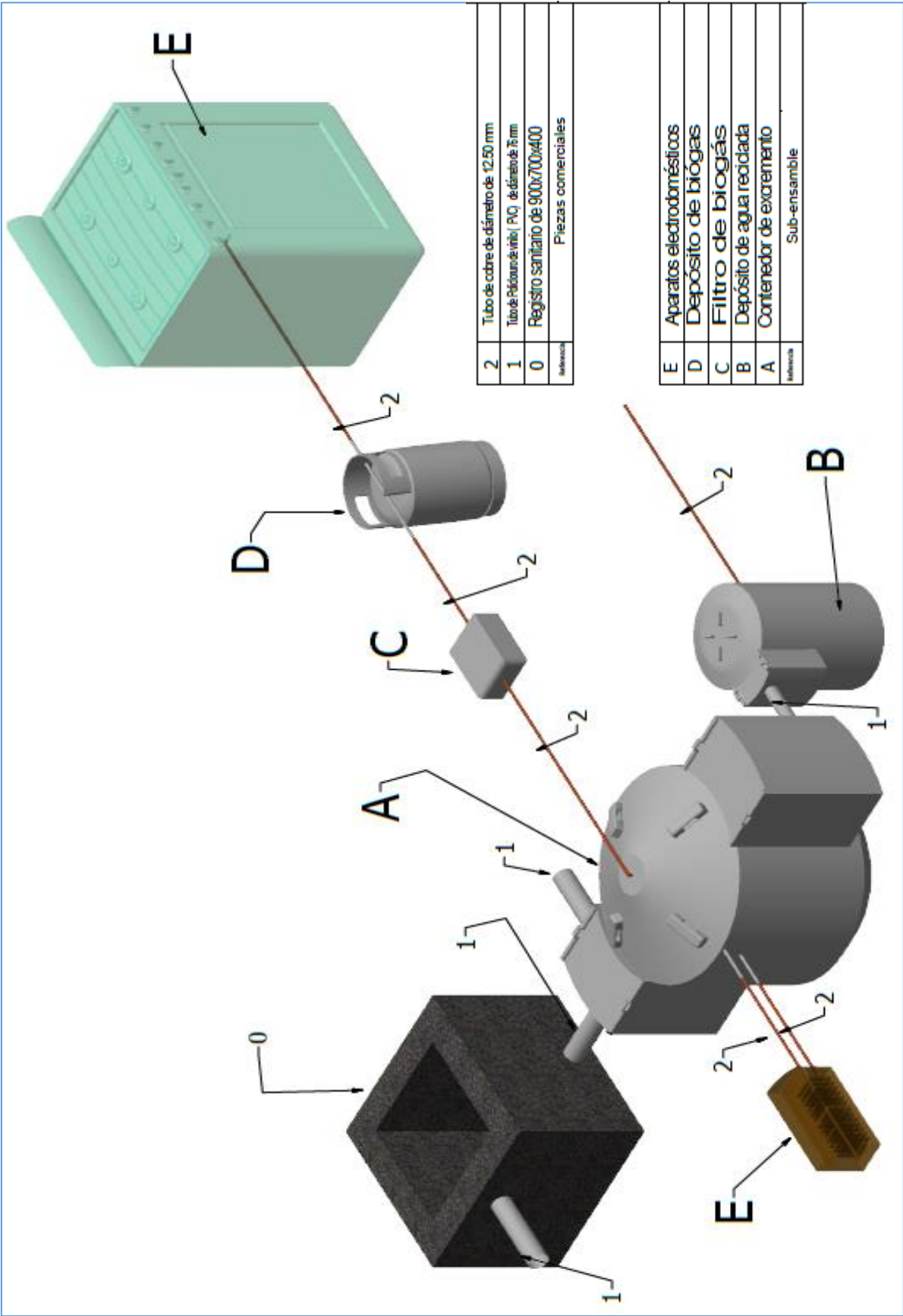
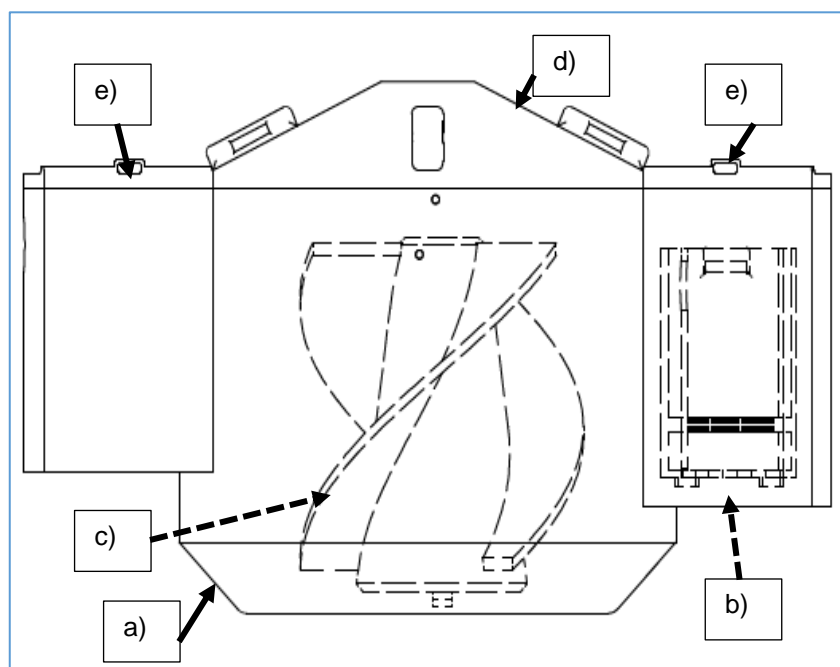


Figura 45. Ensamble general del AutoBioGen diseñado. (Elaboración propia)

Como se puede observar en la Figura 45 las partes y piezas que conforman al AutoBioGen disminuyeron con respecto al construido, dado que se unieron piezas. Un ejemplo de lo anterior es que se unió la trampa de sólidos, el contenedor de fermentación y el contenedor de excremento ya fermentado en un solo sub-ensamble (**Figura 46**).



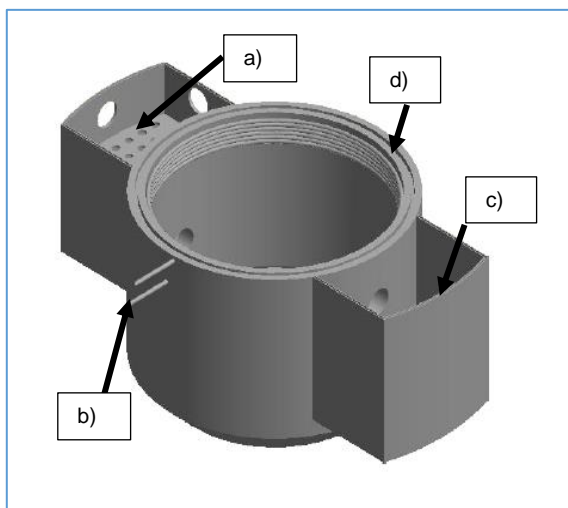
**Figura 46.** Componentes del sub-ensamble contenedor de excremento.  
(Elaboración propia)

Las cinco piezas que conforman el sub-ensamble llamado contenedor de excremento son las siguientes:

- Cilindro con capacidad de 300 litros (**Figura 47**)
- Caja perforada (**Figura 48**)
- Agitador (**Figura 49**)
- Tapa del cilindro con capacidad de 300 litros (**Figura 50**)
- Tapas de las cajas del cilindro con capacidad de 300 litros (**Figura 51**)

**Nota:** Las dimensiones y especificaciones de las piezas se pueden consultar en el anexo 10.

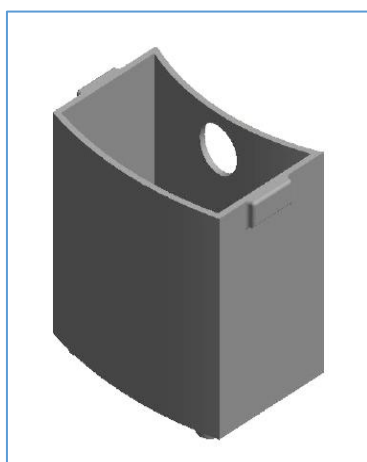




1. El cilindro de PE con capacidad de 300 litros, posee dos cajas adjuntas, cada una con una capacidad de 68 litros, con las siguientes funciones:

- a) Esta caja es la trampa de sólidos y agua jabonosa, donde se separa el excremento del agua jabonosa.
- b) La tubería alrededor del cilindro contiene agua la cual se calienta por la temperatura de la fermentación del excremento. El agua caliente sale hacia el zoclo térmico que climatiza la casa
- c) Lugar donde se coloca una caja perforada.
- d) En el orificio donde encaja la tapa del cilindro. Se colocaron empaques de plástico con el fin de que no haya filtraciones.

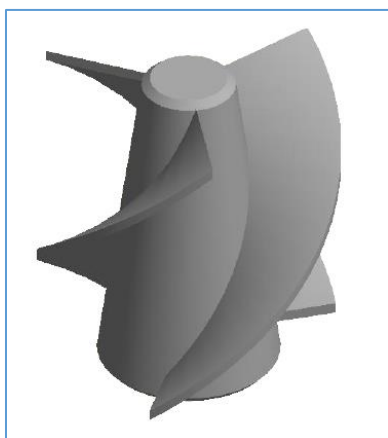
**Figura 47.** Pieza cilindro con capacidad de 300 litros. (Elaboración propia)



2. La caja perforada tiene la siguiente función: Esta caja perforada es la encargada de separar el excremento ya fermentado del agua. El excremento es usado como abono para las plantas, mientras que el agua pasa al depósito de agua filtrada.

Las orejas de la caja se diseñaron para que el usuario tenga la facilidad de sacarla del contenedor de excremento.

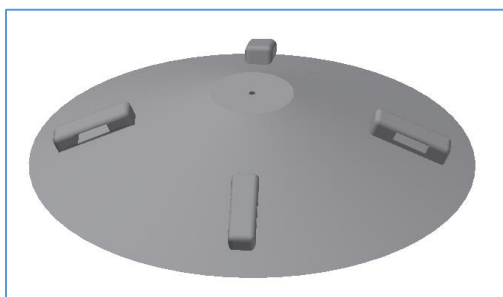
**Figura 48.** Pieza caja perforada. (Elaboración propia)



3. El agitador del cilindro tiene como base un agitador de lavadora marca MABE, este último agitador se utilizó en la construcción y experimentación del AutoBioGen.

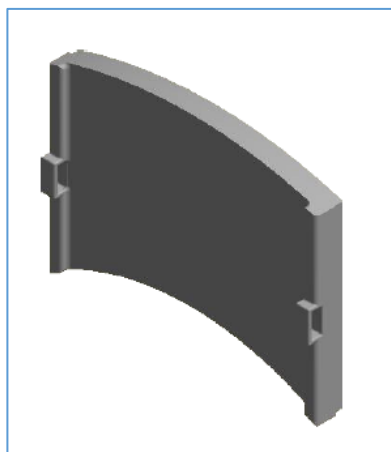
En el experimento se observó que el agitador de lavadora se atoraba debido a la inclinación de 90° de las aspas, por lo que se rediseñaron con una inclinación de 45°, con el fin de que al caer el excremento empuje las aspas.

**Figura 49.** Pieza agitador. (Elaboración propia)



4. La tapa del cilindro con capacidad de 300 litros, se diseñó con un ángulo de 20° de inclinación respecto a su centro, con el fin de que el biogás se desplace hacia arriba y salga en el orificio de la parte superior de la tapa, además se colocaron 4 agarraderas con perforaciones de 40 mm de ancho x 40 mm de largo con el fin de introducir la mano y quitar la tapa del cilindro, también se colocó una rosca en la parte inferior para que enganche con la rosca del cilindro y no haya fugas de biogás por el borde del cilindro.

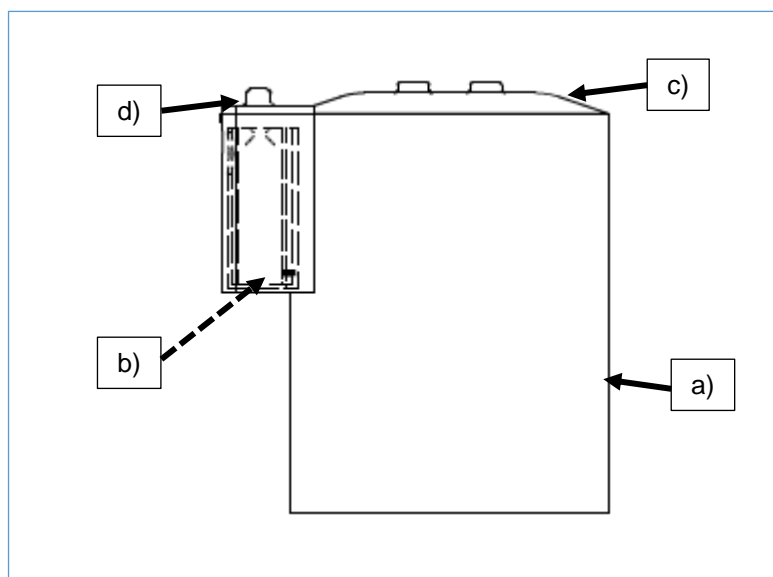
**Figura 50.** *Pieza tapa del cilindro con capacidad de 300 litros. (Elaboración propia)*



5. Las tapas de las cajas que están unidas al cilindro con capacidad de 300 litros, tienen en los lados unas agarraderas, con el fin de que el usuario pueda introducir los dedos de la mano la pueda levantar fácilmente.

**Figura 51.** *Pieza tapa de las cajas del cilindro con capacidad de 300 litros. (Elaboración propia)*

En la investigación doctoral se observó que el filtro de agua estaba enterrado 80 cm bajo tierra lo cual dificultaba cambiar los componentes del filtro cada seis meses ya que se debía escarbar para retirarlo y volver a tapar, por lo que se diseñó nuevamente el depósito de agua reciclada con el filtro integrado en su parte lateral, con la finalidad de que los componentes del filtro se pueda remover fácilmente (**Figura 52**).

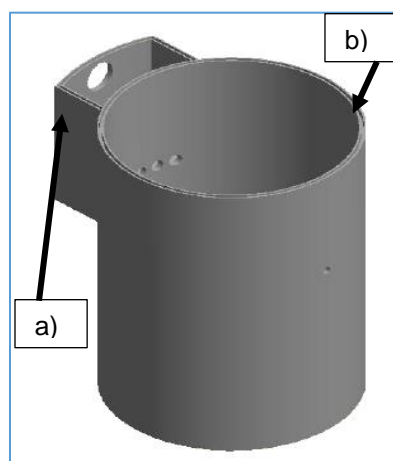


**Figura 52.** Componentes del sub-ensamble depósito de agua reciclada. (Elaboración propia)

Las cuatro piezas que conforman el sub-ensamble llamado depósito de agua reciclada son las siguientes:

- Cilindro con capacidad de 58 litros (**Figura 53**).
- Caja removible (**Figura 54**).
- Tapa del cilindro con capacidad de 58 litros (**Figura 55**).
- Tapa de la caja del cilindro con capacidad de 58 litros (**Figura 56**).

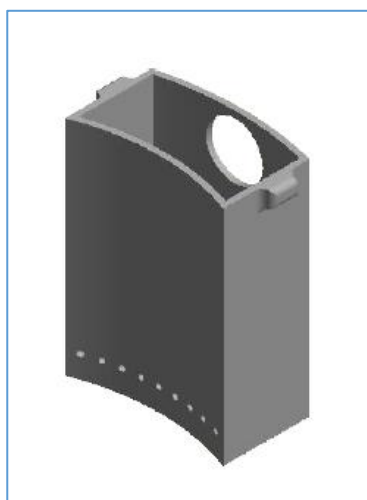
**Nota:** Las dimensiones y especificaciones se pueden observar en el anexo 10.



1. El cilindro con capacidad de 58 litros de PE, cuenta con una caja adjunta con capacidad de 30 litros.

- a) Zona donde se coloca una caja removible con oreja.
- b) En el orificio donde encaja la tapa del cilindro así como en la tapa de la caja se colocaron empaques de plástico con la finalidad de evitar filtraciones.

**Figura 53.** Pieza cilindro con capacidad de 58 litros. (Elaboración propia)

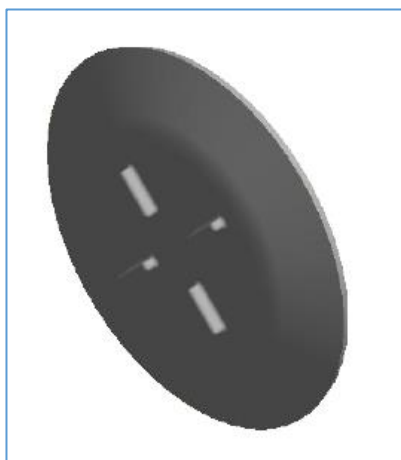


2. La caja removable con oreja, es el filtro de agua. El filtro de agua es llenado de abajo hacia arriba con los siguientes materiales.

- a)  $\frac{1}{4}$  kg de carbón activo
- b)  $\frac{1}{4}$  kg de zeolita
- c) 150 bioesferas de 6 mm

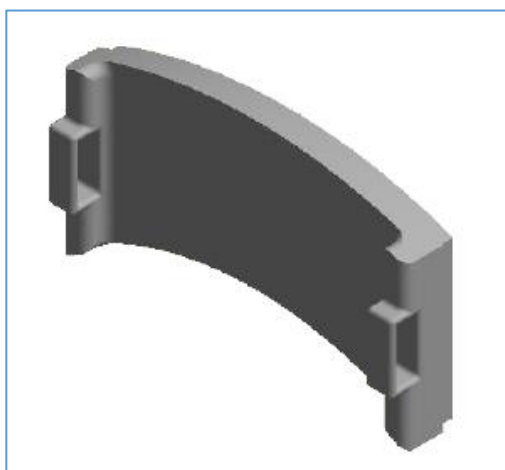
Los componentes de la caja removable se deben cambiar cada seis meses con el fin de garantizar una filtración adecuada.

**Figura 54.** Pieza caja removable. (Elaboración propia)



3. La tapa del cilindro con capacidad de 58 litros, tiene rectángulos en la parte de arriba con perforaciones, con el fin de que el usuario introduzca sus manos y retire fácilmente la tapa.

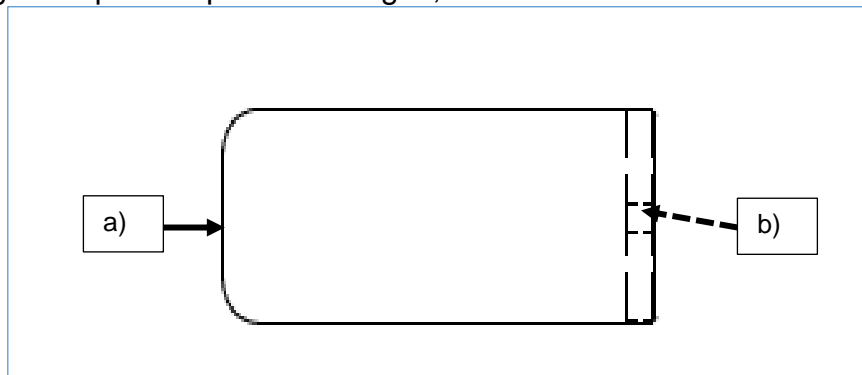
**Figura 55.** Pieza Tapa del cilindro con capacidad de 58 litros. (Elaboración propia)



4. La tapa de la caja del cilindro con capacidad de 30 litros tienen en ambos lados unas agarraderas, con el fin de que el usuario pueda introducir su mano y levantar la tapa fácilmente.

**Figura 56.** Pieza tapa de la caja del cilindro con capacidad de 58 litros. (Elaboración propia)

Se diseñó adicionalmente una caja la cual funciona como filtro de biogás (**Figura 57**) con una tapa removible, esta caja puede ser llenada de agua o aserrín para filtrar los diferentes gases que componen al biogás, con el fin de obtener el 70% de  $\text{CH}_4$ .

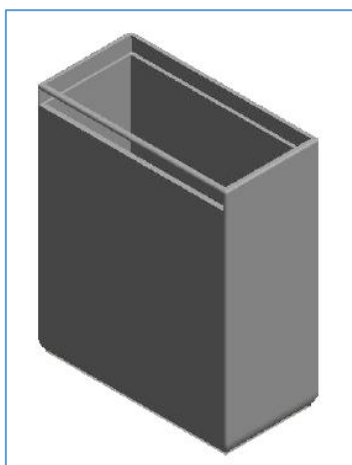


**Figura 57.** Componentes del sub-ensamble filtro de biogás.  
(Elaboración propia)

Las dos piezas que conforman al filtro de biogás son las siguientes:

- Caja con orificio (**Figura 58**).
- Tapa de caja con orificio (**Figura 59**).

**Nota:** Las dimensiones y especificaciones se pueden observar en el anexo 10.



1. La caja del filtro de biogás tiene una capacidad de 500 g.

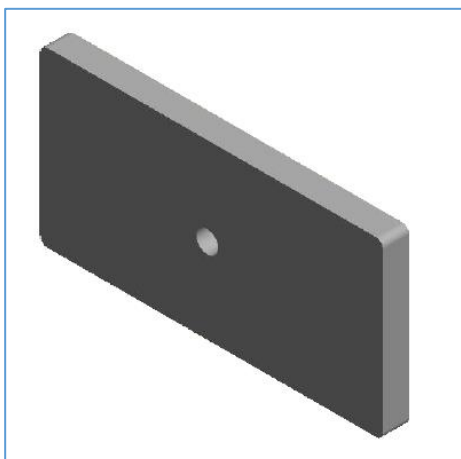
La caja de biogás es llenada con el siguiente componente:

a)  $\frac{1}{2}$  kg de aserrín o 300 ml de agua

Tanto el aserrín como el agua son ideales para filtrar el biogás. Se obtiene el 70% de  $\text{CH}_4$  que conforma al biogás, mientras que el 30% restante está conformado por 28%, 1%, 1% de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y de vapor de agua respectivamente, los cuales quedan atrapados en el aserrín o en el agua.

Se coloca un empaque alrededor de la perforación de la caja para evitar filtración de biogás.

**Figura 58.** Pieza caja con orificio. (Elaboración propia)



2. La tapa de la caja con orificio, es removible ya que los componentes del filtro deben ser cambiados cada dos meses con la finalidad de obtener la mayor cantidad de  $\text{CH}_4$  filtrado del biogás generado en la fermentación anaeróbica del excremento.

**Figura 59.** Pieza tapa de la caja con orificio. (Elaboración propia)

El explosivo, los sub-ensambles, las partes y las piezas que conforman al AutoBioGen diseñado, así como las dimensiones respectivas se pueden consultar en el Anexo 10.

**Nota:** Los planos para el taller del explosivo, los sub-ensambles, las partes y las piezas, así como las dimensiones del AutoBioGen construido se consultan en los archivos electrónicos de la tesis. Los derechos de patente son exclusivos de la UAM, por lo que para la consulta respectiva se deberán pagar los derechos correspondientes.

#### 4.2.1 Impresión 3D

Cuando se realizó el experimento del AutoBioGen con las piezas comerciales surgieron diversos problemas con el prototipo, con el fin de resolver y mejorar el prototipo se utilizó el programa de Diseño Asistido por Computadora (DAC) Inventor-Autodesk Professional 2014 en donde se diseñó el AutoBioGen y se efectuaron algunos cambios y correcciones al prototipo para optimizarlo, disminuyendo el número de piezas para así reducir los costos del AutoBioGen, debido a que se observó que algunas funciones de ciertas piezas podrían ser realizadas por otras. Además en el programa Autodesk se hizo el análisis de interferencia de los componentes de los sub-ensambles.

Después de diseñar el AutoBioGen en el programa de DAC, se guardaron los archivos con extensión .stl con el fin de que el programa CURA 2.3.1 leyera los archivos y además es el encargado de enviar los archivos .stl a la impresora 3D.

El AutoBioGen se escaló 1:7.5 (**Figura 60**) con el fin de realizar una pequeña maqueta en una impresora marca FLSUN 3D Metal Frame modelo Kossel Delta (**Anexo 11**) con el

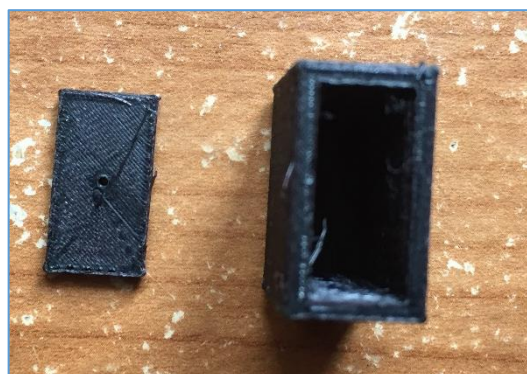
asesoramiento del Ingeniero en Sistemas Francisco Javier Hernández Rivas (correo electrónico: raxfj1@gmail.com). En el programa CURA se puede ver una visualización previa de las piezas a imprimir. En esta visualización previa se puede observar las capas de la pieza que va poniendo el extrusor, en esta vista se observó que se tenía que modificar la velocidad de impresión y el tamaño de la boquilla (tamaño de boquillas utilizadas fue de 0.4 y 0.2 mm) del extrusor para que el detalle de las piezas del AutoBioGen tuvieran la mejor calidad.



**Sub ensamble: Contenedor de excremento**



**Sub ensamble: Depósito de agua**



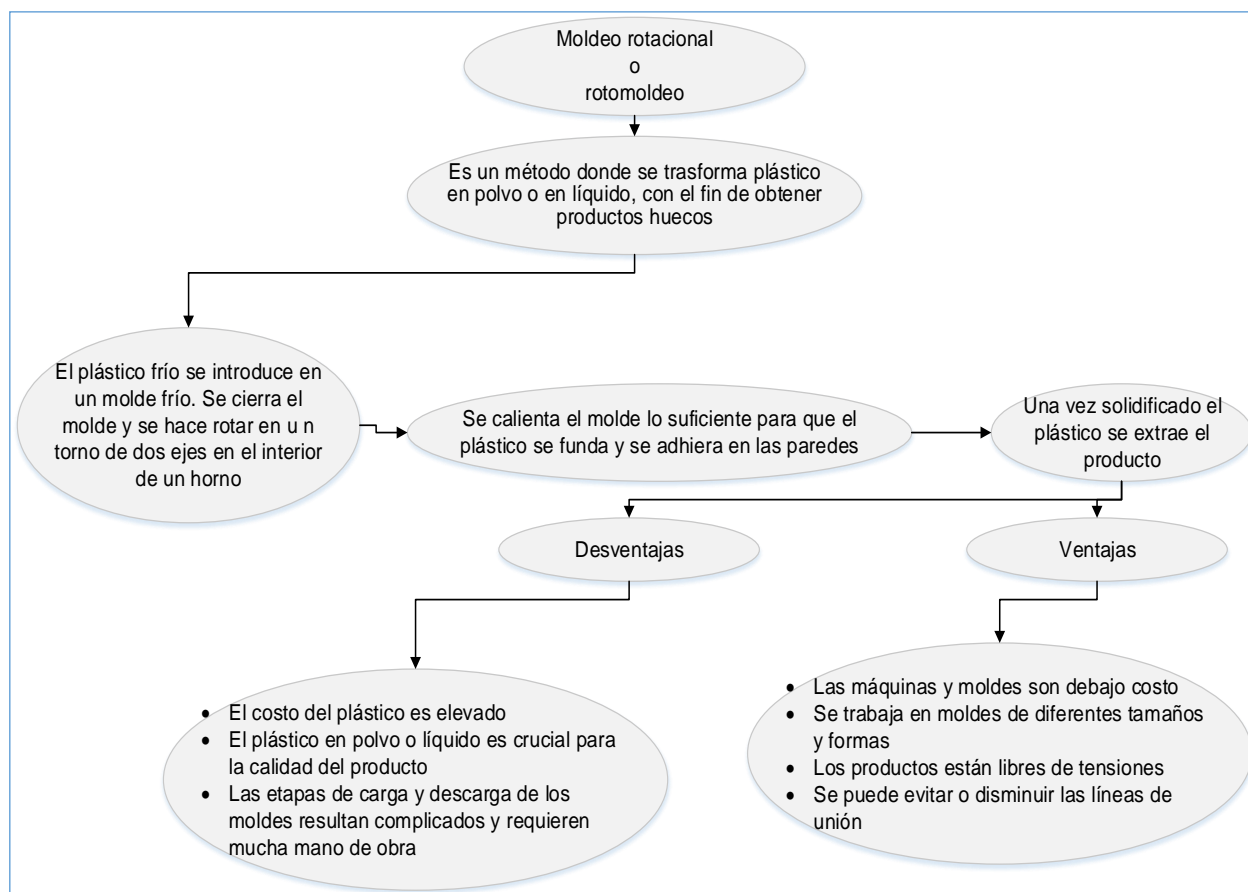
**Sub ensamble: Filtro de biogás**

**Figura 60.** Impresión 3D de sub-ensambles del AutoBioGen escala 1:7.5. (Elaboración propia)



### 4.2.2 Rotomoldeo

Las piezas diseñadas se plantea producirlas mediante el método de rotomoldeo (**Figura 61**) ya que los costos disminuirían considerablemente respecto a otros procesos como puede ser la inyección de plásticos, por compresión, por soplado, entre otros.



**Figura 61.** Rotomoldeo. (Elaboración propia basado en Rodríguez, 2009)

En la actualidad el proceso de rotomoldeo es muy utilizado por la empresa mexicana Rotoplas, la cual fabrica tinacos y biodigestores. El beneficio de este proceso es fabricar piezas muy grandes a costos reducidos.

El costo del polietileno es de \$21 pesos por cada litro (Mercado libre, 2017). Con lo anterior podemos calcular el precio del sub ensamble llamado contenedor de excremento que está conformado por las siguientes piezas:



- Cilindro con capacidad de 300 litros (el cilindro tiene dos cajas unidas).
- Caja perforada.
- Eje
- Agitador
- Tapa de cilindro con capacidad de 300 litros
- 2 Tapas para las cajas del cilindros con capacidad de 300 litros

### Cilindro con capacidad de 300 litros

La fórmula para obtener el volumen del cilindro se calcula primero el volumen total y después se resta el volumen interior (dado que el contenedor no es total mente sólido, por lo que se deben calcular los dos volúmenes para proveer la cantidad exacta que se necesita de material plástico):

$$VT = \pi r^2 h; \text{ Dónde: } VT = \text{Volumen Total}; r = \text{radio}; h = \text{altura}$$

$$VT = \pi (0.40m)^2 (0.60m)$$

$$VT = 0.30 \text{ m}^3$$

$$VI = \pi r^2 h; \text{ Dónde: } VI = \text{Volumen Interior}; r = \text{radio}; h = \text{altura}$$

$$VI = \pi (0.32m)^2 (0.60m)$$

$$VI = 0.19 \text{ m}^3$$

$$VM = VT - VI; \text{ Dónde: } VM = \text{Volumen del Material}; VT = \text{Volumen Total}; VI = \text{Volumen Interior}$$

$$VM = 0.30 - 0.19 = 0.11 \text{ m}^3$$

El material necesario para construir el cilindro de 300 litros es de  $0.11 \text{ m}^3$ . Si se convierten los  $0.11 \text{ m}^3$  a litros, esto es igual a 110 litros, al multiplicar por \$21 pesos que cuesta cada litro de polímero, entonces el costo del cilindro es de \$2,310 pesos.

El cilindro de 300 litros tiene dos cajas, se debe obtener el volumen de estas últimas y sumarle el costo del cilindro para obtener el precio total del cilindro con capacidad de 300 litros.

## Caja 1 y 2

La fórmula para obtener el volumen del prisma rectangular, se obtiene primero el volumen total y después se resta el volumen interior de cada caja dado que estas últimas tienen diferentes alturas:

### Caja 1

$VT1 = abh$ ; Dónde:  $VT1$ =Volumen Total de caja 1;  $a$ =lado a de la base;  $b$ =lado b de la base;  $h$ =altura

$$VT1 = (0.40m)(0.25 m)(0.40m)$$

$$VT1 = 0.040 \text{ m}^3$$

$VI1 = abh$ ; Dónde:  $VI1$ =Volumen Interior de caja 1;  $a$ =lado a de la base;  $b$ =lado b de la base;  $h$ =altura

$$VI1 = (0.38m)(0.23 m)(0.45m)$$

$$V = 0.03 \text{ m}^3$$

$VM1 = VT1 - VI1$ ; Dónde:  $VM1$ =Volumen del Material de caja 1;  $VT1$ =Volumen Total;  $VI1$ =Volumen Interior

$$VM1 = 0.04 - 0.03 = 0.01 \text{ m}^3$$

### Caja 2

$VT2 = abh$ ; Dónde:  $VT2$ =Volumen Total de caja 2;  $a$ =lado a de la base;  $b$ =lado b de la base;  $h$ =altura

$$VT2 = (0.40m)(0.25 m)(0.45m)$$

$$VI2 = 0.045 \text{ m}^3$$

$VI2 = abh$ ; Dónde:  $VI2$ =Volumen Interior de caja 2;  $a$ =lado a de la base;  $b$ =lado b de la base;  $h$ =altura

$$VI2 = (0.38m)(0.23 m)(0.45m)$$

$$VI2 = 0.03 \text{ m}^3$$

$VM2 = VT2 - VI2$ ; Dónde:  $VM$ =Volumen del Material de caja 2;  $VT2$ =Volumen Total;  $VI2$ =Volumen Interior

$$VM2 = 0.045 - 0.030 = 0.015 \text{ m}^3$$

Al convertir los  $0.01 \text{ m}^3$  a litros se obtiene 10 litros de material para la caja 1, al multiplicar por \$21 pesos el resultado es de \$210 pesos.

La caja 2 se necesita  $0.015 \text{ m}^3$  de materia si se convierte esta última cantidad a litros se obtienen 15 litros por \$21 pesos es igual a \$315 pesos.

### Caja perforada

La fórmula para obtener el volumen del prisma rectangular, primero se debe calcular el volumen total y después de restar el volumen interior de la caja perforada que va dentro de una de las cajas:

$$VT = abh; \text{ Dónde: } VT = \text{Volumen Total}; a = \text{lado } a \text{ de la base}; b = \text{lado } b \text{ de la base}; \\ h = \text{altura}$$

$$VT = (0.34\text{m})(0.23 \text{ m})(0.38\text{m})$$

$$VT = 0.029 \text{ m}^3$$

$$VI = abh; \text{ Dónde: } VI = \text{Volumen Interior}; a = \text{lado } a \text{ de la base}; b = \text{lado } b \text{ de la base}; \\ h = \text{altura}$$

$$VI = (0.32\text{m})(0.21 \text{ m})(0.38\text{m})$$

$$VI = 0.025 \text{ m}^3$$

$$VM = VT - VI; \text{ Dónde: } VM = \text{Volumen del Material}; VT = \text{Volumen Total}; VI = \text{Volumen Interior}$$

$$VM = 0.029 - 0.025 = 0.004$$

Al convertir los  $0.004 \text{ m}^3$  a litros, se obtiene 4 litros de material para la caja perforada que va dentro de una de las cajas, al multiplicar por \$21 pesos el resultado es de \$84 pesos.

### Eje

La fórmula para obtener el volumen del eje se debe calcular solo el volumen total ya que es un sólido completamente:

$$VT = \pi r^2 h; \text{ Dónde: } VT = \text{volumen Total}; r = \text{radio}; h = \text{altura}$$

$$VT = \pi(0.0062m)^2(0.10m)$$

$$VT = 0.000012 \text{ m}^3$$

Al convertir los 0.000012 m<sup>3</sup> a litros se obtiene 0.012 litros de material para el eje, al multiplicar por \$21 pesos, el resultado es de \$0.252 pesos.

### **Agitador**

La fórmula para obtener el volumen del agitador se debe calcular solo el volumen total ya que es un sólido:

$$VT = \pi r^2 h; \text{ Dónde: } VT=\text{volumen Total}; r=\text{radio}; h=\text{altura}$$

$$VT = \pi(0.123m)^2(0.45m)$$

$$VT = 0.021 \text{ m}^3$$

Al convertir los 0.021 m<sup>3</sup> a litros, se obtiene 21 litros de material para el agitador, al multiplicar por \$21 pesos, el resultado es \$441 pesos.

### **Tapa del cilindro con capacidad de 300 litros**

La fórmula para obtener el volumen de la tapa del cilindro es similar al cálculo del volumen de un cono, calculando únicamente el volumen total:

$$VT = \frac{\pi r^2 h}{3}; \text{ Dónde: } VT= \text{Volumen Total}; r=\text{radio}; h=\text{altura}$$

$$VT = \frac{\pi(0.40m)^2(0.16m)}{3}$$

$$VT = 0.027 \text{ m}^3$$

Al convertir los 0.026 m<sup>3</sup> a litros, se obtiene 26 litros de material para la tapa del cilindro que tiene forma de cono, al multiplicar por \$21 pesos, el resultado es de \$546 pesos.

### **2 Tapas de las cajas del cilindro de 300 litros**

En la fórmula para obtener el volumen del prisma rectangular de las tapas de las cajas, únicamente se considera el volumen total:

$VT = abh$ ; Dónde:  $VT$ =Volumen Total;  $a$ =lado  $a$  de la base;  $b$ =lado  $b$  de la base;

$h$ =altura

$$VT = (0.40m)(0.25 m)(0.054m)$$

$$VT = 0.0054 m^3$$

Al convertir  $0.0054 m^3$  en litros, se obtiene 5.4 litros, si lo multiplicamos por \$21 pesos, es igual a \$113.40 pesos, al multiplicar esta última cantidad por 2 (se multiplica por dos cajas y cada una necesita una tapa, puesto que las cajas miden lo mismo tanto del lado  $a$  como del  $b$ , únicamente se calcula el volumen de una tapa) se obtienen \$226.80 pesos.

Al sumar las cantidades anteriormente obtenidas el resultado del costo total del sub ensamble llamado contenedor de excremento es igual a \$4,133.052.

El precio del sub ensamble llamado depósito de agua lo conforman las siguientes piezas:

- Cilindro con capacidad de 58 litros (el cilindro tiene una caja unida a su lado).
- Caja removible.
- Tapa de cilindro con capacidad de 58 litros.
- 1 Tapa para las cajas del cilindro.

### **Cilindro con capacidad de 58 litros**

En la fórmula para obtener el volumen del cilindro, primero se calcula el volumen total y después se resta el volumen interior (ya que el contenedor no es totalmente sólido, se deben calcular los dos volúmenes para obtener la cantidad exacta que se necesita de material):

$VT = \pi r^2 h$ ; Dónde:  $VT$ =volumen Total;  $r$ =radio;  $h$ =altura

$$VT = \pi(0.195m)^2(0.39m)$$

$$VT = 0.046 m^3$$

$$VI = \pi r^2 h; \text{ Dónde: } VI=\text{Volumen Interior}; r=\text{radio}; h=\text{altura}$$

$$VI = \pi(0.185m)^2(0.39m)$$

$$VI = 0.041 \text{ m}^3$$

$$VM = VT - VI; \text{ Dónde: } VM=\text{Volumen del Material}; VT=\text{Volumen Total}; VI=\text{Volumen Interior}$$

$$VM = 0.046 - 0.041 = 0.005 \text{ m}^3$$

El material necesario para construir el cilindro de 58 litros es de 0.005 m<sup>3</sup>. Si se convierten los 0.005 m<sup>3</sup> a litros, esto es igual a 5 litros y se multiplica por \$21 pesos que cuesta cada litro de polímero, entonces el costo del cilindro es de \$105 pesos.

Ya que el cilindro tiene una caja, se debe obtener el volumen de estas últimas y sumarle el costo del cilindro para obtener el precio total del cilindro con capacidad de 58 litros

### Caja

La fórmula para obtener el volumen del prisma rectangular se debe calcular el volumen total y después restarle el volumen interior de la caja:

$$VT = abh; \text{ Dónde: } VT= \text{Volumen Total}; a=\text{lado } a \text{ de la base}; b=\text{lado } b \text{ de la base}; h=\text{altura}$$

$$VT = (0.20m)(0.113 \text{ m})(0.25m)$$

$$VT = 0.006 \text{ m}^3$$

$$VI = abh; \text{ Dónde: } VI=\text{Volumen Interior}; a=\text{lado } a \text{ de la base}; b=\text{lado } b \text{ de la base}; h=\text{altura}$$

$$VI = (0.18m)(0.093 \text{ m})(0.25m)$$

$$VI = 0.0041 \text{ m}^3$$

$$VM = VT - VI; \text{ Dónde: } VM=\text{Volumen del Material}; VT=\text{Volumen Total}; VI=\text{Volumen Interior}$$

$$VM = 0.006 - 0.0041 = 0.0019 \text{ m}^3$$

Al convertir los  $0.0019 \text{ m}^3$  a litros, se obtienen 1.90 litros de material para la caja, al multiplicar por \$21 el resultado es de \$39.90 pesos.

### Caja removable

Para obtener el volumen del prisma rectangular, se debe calcular el volumen total y restarle el volumen interior de la caja removable que va dentro de la caja:

$$VT = abh; \text{ Dónde: } VT = \text{Volumen Total}; a = \text{lado a de la base}; b = \text{lado b de la base}; \\ h = \text{altura}$$

$$VT = (0.16\text{m})(0.076\text{m})(0.198\text{m})$$

$$VT = 0.0024 \text{ m}^3$$

$$VI = abh; \text{ Dónde: } VI = \text{Volumen Interior}; a = \text{lado a de la base}; b = \text{lado b de la base}; \\ h = \text{altura}$$

$$VI = (0.14 \text{ m})(0.056 \text{ m})(0.198\text{m})$$

$$VI = 0.0015 \text{ m}^3$$

$$VM = VT - VI; \text{ Dónde: } VM = \text{Volumen del Material}; VT = \text{Volumen Total}; VI = \text{Volumen Interior}$$

$$VM = 0.0024 - 0.0015 = 0.0009 \text{ m}^3$$

Al convertir los  $0.0009 \text{ m}^3$  a litros, se obtienen 0.9 litros de material para la caja perforada que va dentro de una de las cajas, al multiplicar por \$21 pesos el resultado es de \$18.90 pesos.

### Tapa del cilindro con capacidad de 58 litros

La fórmula para obtener el volumen de la tapa del cilindro de 58 litros utiliza la fórmula de un cilindro, en la cual solo se debe obtener solo el volumen total:

$$VT = \pi r^2 h; \text{ Dónde: } VT = \text{Volumen Total}; r = \text{radio}; h = \text{altura}$$

$$VT = \pi(0.15\text{m})^2(0.0479\text{m})$$

$$VT = 0.0033 \text{ m}^3$$

Al convertir los  $0.033 \text{ m}^3$  a litros, se obtienen 3.30 litros de material para la tapa del cilindro con capacidad de 58 litros, al multiplicar por \$21 pesos el resultado es de \$69.30 pesos.

### **Tapa de la caja del cilindro con capacidad de 58 litros**

En la fórmula para obtener el volumen del prisma rectangular de la tapa de la caja se debe calcular únicamente el volumen total:

$$VT = abh; \text{ Dónde: } VT = \text{Volumen Total}; a = \text{lado } a \text{ de la base}; b = \text{lado } b \text{ de la base};$$

$$h = \text{altura}$$

$$VT = (0.20m)(0.113m)(0.0399m)$$

$$VT = 0.00090 \text{ m}^3$$

Al convertir  $0.00090 \text{ m}^3$  en litros, se obtienen 0.9 litros si lo multiplicamos por \$21 pesos es igual a \$18.90 pesos.

Al sumar las cantidades anteriormente obtenidas el resultado del costo total del sub ensamble conocido como depósito de agua es de \$302.40 pesos.

El precio del sub ensamble llamado filtro de biogás lo conforman las siguientes piezas:

- Caja perforada.
- Tapa de caja perforada.

### **Caja perforada**

La fórmula para obtener el volumen del prisma rectangular se debe calcular primero el volumen total y después restarle el volumen interior de la caja perforada:

$$VT = abh; \text{ Dónde: } VT = \text{Volumen Total}; a = \text{lado } a \text{ de la base}; b = \text{lado } b \text{ de la base};$$

$$h = \text{altura}$$

$$VT = (0.20m)(0.10m)(0.25m)$$

$$VT = 0.005 \text{ m}^3$$



$VI = abh$ ; Dónde:  $VI$ = Volumen Interior;  $a$ =lado  $a$  de la base;  $b$ =lado  $b$  de la base;

$h$ =altura

$$VI = (0.18\text{ m})(0.08\text{ m})(0.25\text{ m})$$

$$VI = 0.0036\text{ m}^3$$

$VM = VT - VI$ ; Dónde:  $VM$ = Volumen del Material;  $VT$ =Volumen Total;  $VI$ = Volumen Interior

$$VM = 0.005 - 0.0036 = 0.0014\text{ m}^3$$

Al convertir los  $0.0014\text{ m}^3$  a litros, se obtienen 1.40 litros de material para la caja perforada, al multiplicar por \$21 pesos el resultado es de \$29.40 pesos.

### **Tapa de la caja perforada**

La fórmula para obtener el volumen del prisma rectangular de la tapa de la caja perforada se debe calcular solo el volumen total:

$VT = abh$ ; Dónde:  $VT$ = Volumen Total;  $a$ =lado  $a$  de la base;  $b$ =lado  $b$  de la base;

$h$ =altura

$$VT = (0.195\text{ m})(0.0984\text{ m})(0.0149\text{ m})$$

$$VT = 0.00028\text{ m}^3$$

Al convertir  $0.00028\text{ m}^3$  en litros, se obtienen 0.28 litros si lo multiplicamos por \$21 es igual a \$5.80 pesos.

Al sumar las cantidades anteriormente obtenidas, el resultado del costo total del sub ensamble conocido como filtro de biogás es igual a \$35.60 pesos.

Si se suma el precio de los sub-ensambles, entonces el costo total del material para el AutoBioGen es de \$4,471.052 pesos.

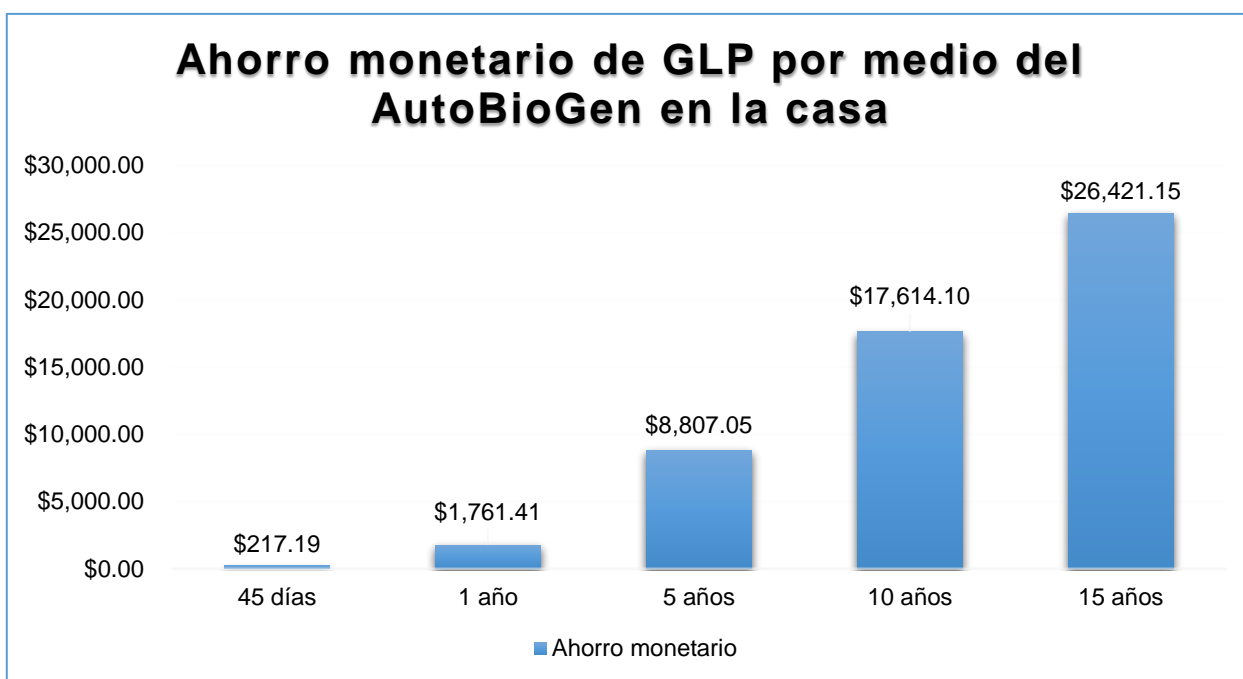
**Nota:** Las dimensiones de las Figuras geométricas se obtuvieron de los planos del anexo 10.

### 4.3 Económico

En el caso de que el biogás sea utilizado como combustible para la estufa en la casa. El AutoBioGen aportaría 1.057 m<sup>3</sup> (1,057 litros entre 45 días, se obtienen 23.48 litros al día)<sup>5</sup> de biogás para la estufa, si bien el precio de GLP es de \$9.25 por litro (costo de GLP en el Estado de México el 15 de abril 2018) (AMEXGAS, 2018), entonces la familia de una casa ahorraría en GLP \$217.19 pesos cada 45 días, al año serían \$1,761.41. Además del ahorro de GLP, la inversión de comprar la estufa de GLP MABE (precio \$8,799 pesos), se recuperaría en cinco años (Tabla 17 y Figura 62).

**Tabla 17.** Proyecciones del ahorro monetario de GLP por medio del AutoBioGen en la casa.  
(Elaboración propia)

Tiempo	45 días	1 año	5 años	10 años	15 años
Ahorro	\$217.19	\$1,761.41	\$8,807.05	\$17,614.10	\$26,421.15



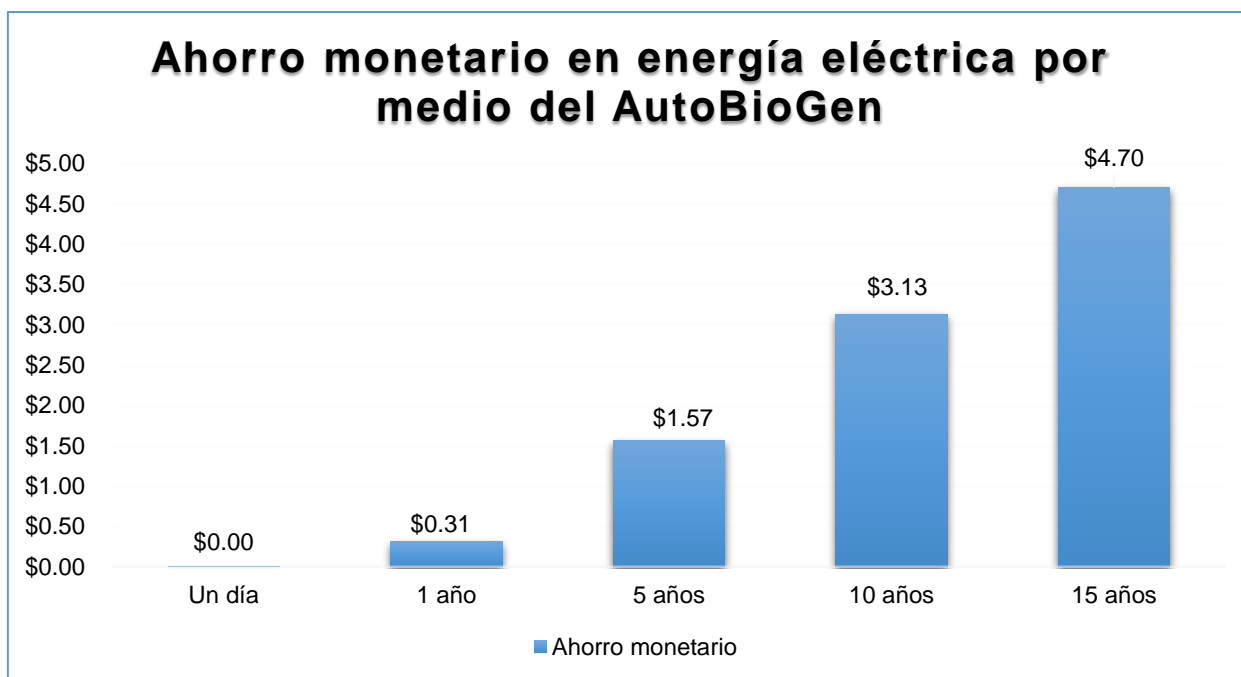
**Figura 62.** Proyecciones del ahorro monetario de GLP por medio del AutoBioGen en la casa.  
(Elaboración propia)

<sup>5</sup> 1 m<sup>3</sup> = 1,000 litros (Giancoli, 2006)

El ahorro de energía eléctrica generada mediante las cinco placas peltier en una casa habitación para cuatro personas, no se toma en consideración, debido a que es poco significativo y no justifica la compra de las placas peltier. Las cinco placas peltier generan 0.0006498 kWh, si la anterior cantidad la multiplicamos por \$1.32 (Costo kWh de acuerdo al recibo de luz de la casa, véase anexo 12), esto es igual a \$0.000857736 pesos ahorrados en un día, en un año serían \$0.31307364 pesos. Una placa peltier cuesta \$150.00 pesos, siendo que el ahorro en 15 años es de \$4.696 pesos, por lo anterior se observa que no hay una relación de costo-beneficio al utilizar las placas con el fin de generar electricidad (**Tabla 18 y Figura 63**). Una solución para mejorar la generación de electricidad de las placas peltier sería colocar otro tipo de líquido, el cual podría ser el aceite de tipo automotriz u otro tipo de líquido que utilicen los calentadores comerciales, para incrementar las temperaturas dentro de la manguera para generar mayor cantidad de electricidad, ya que este tipo de líquidos tienen mejor conductividad térmica.

**Tabla 18.** *Proyecciones del ahorro monetario en energía eléctrica por medio del AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia)*

Tiempo	Un día	1 año	5 años	10 años	15 años
Ahorro	\$0.000857736	\$0.31307364	\$1.5653682	\$3.1307364	\$4.6961046

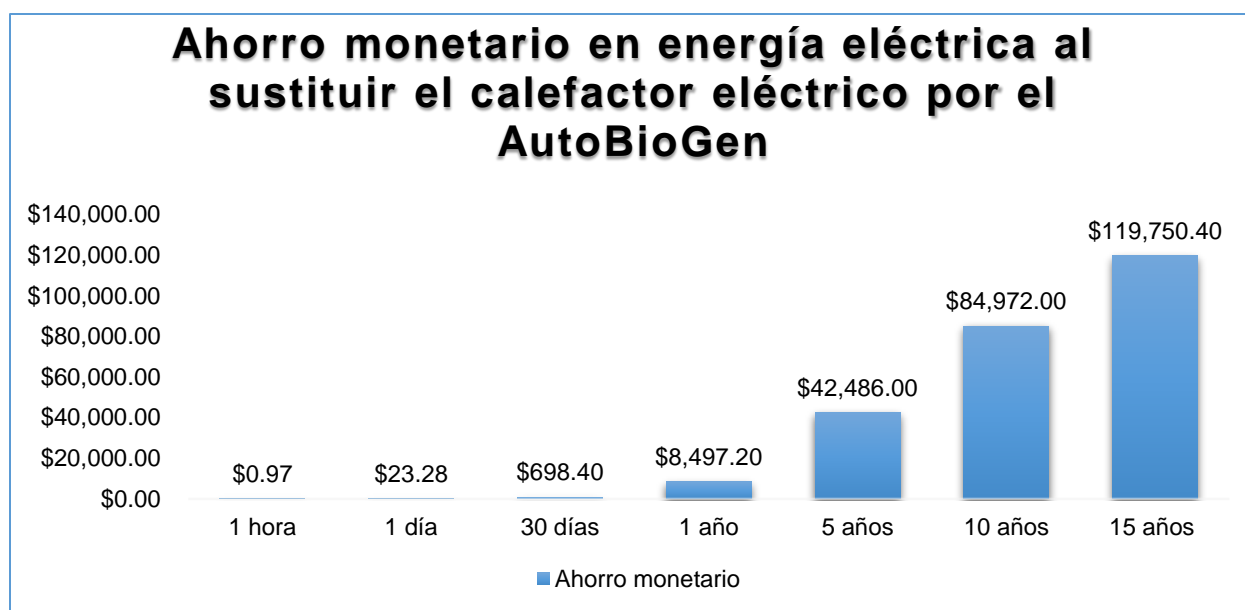


**Figura 63.** *Proyecciones del ahorro monetario en energía eléctrica por medio del AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia)*

El AutoBioGen evita colocar un calefactor eléctrico, así como el gasto en energía eléctrica que su uso implica. Dado que la climatización de la sala-comedor es mediante un zoclo térmico, el cual funciona con el agua calentada dentro del AutoBioGen. La familia de la casa donde habitan cuatro personas ahorrarían en energía eléctrica \$127,458.00, al sustituir el calefactor eléctrico marca Bonaire modelo BFH416-LA013 (**Anexo 13**) con una capacidad de 24,000 BTU con un precio en enero de 2017 de \$859 en Amazon.com (PROFECO, 2012) por el AutoBioGen. El consumo de energía eléctrica del el calefactor eléctrico marca Bonaire modelo BFH416-LA013 es de 733.5 watt-hora (0.7335 kWh)<sup>6</sup>, si cada kWh tiene un costo de \$1.32 (**Anexo 12**), por 0.7335 kWh del calefactor eléctrico, se ahorraría \$0.96822 pesos en una hora, siendo el ahorro en 15 años de \$166,842.20 pesos (**Tabla 19 y Figura 64**).

**Tabla 19.** Proyecciones del ahorro monetario en energía eléctrica al sustituir el calefactor eléctrico por el AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia)

Tiempo	1 hora	1 día	30 días	1 año	5 años	10 años	15 años
Ahorro	\$0.97	\$23.28	\$698.40	\$8,497.20	\$ 42,486.00	\$84,972.00	\$127,458.00



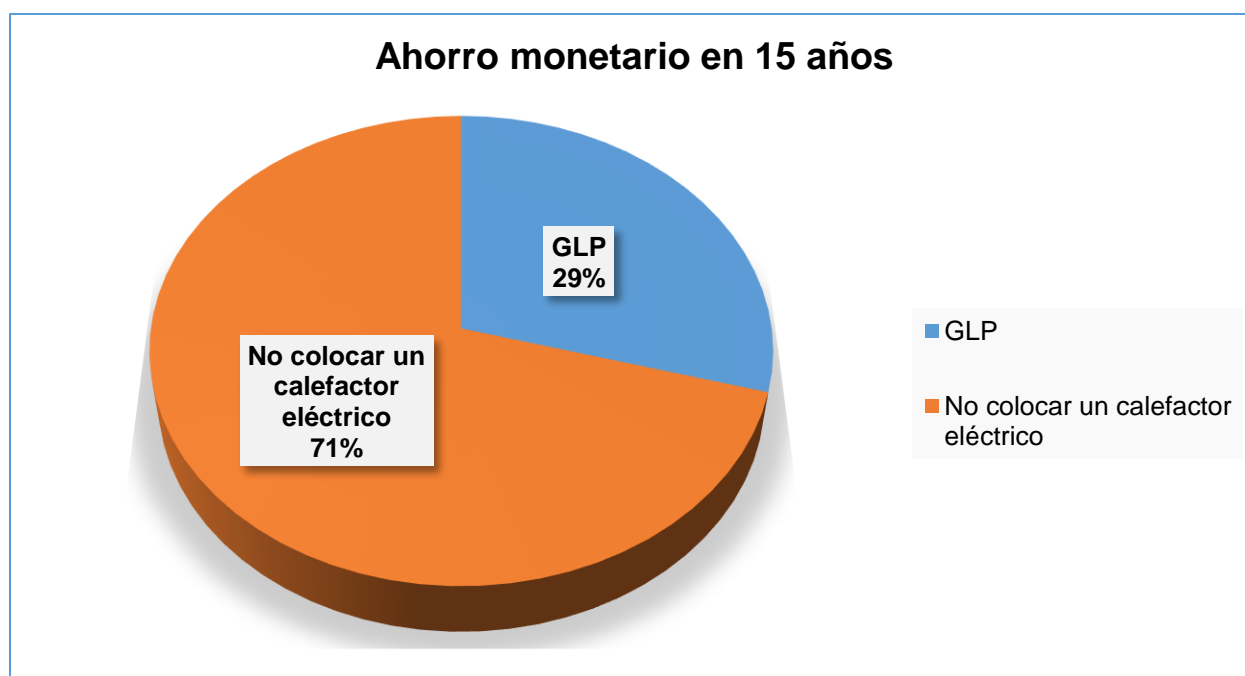
**Figura 64.** Proyecciones del ahorro monetario en energía eléctrica al sustituir el calefactor eléctrico por el AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia)

<sup>6</sup> 1000 Wh= 1kWh (Giancoli, 2006 p. 470-487).

Teniendo en cuenta que el calefactor eléctrico solo funcionara durante las estaciones otoño e invierno, se dividió entre dos<sup>7</sup> la cantidad total de los 15 años (\$127,458.00) con lo cual se obtiene \$63,729.00.

Si sumamos el ahorro de GLP (\$26,421.15) y el no colocar un calefactor eléctrico (\$63,729.00), el ahorro en 15 años en la casa sería de \$90,150.15 pesos si se utilizara el AutoBioGen (Figura 65).

**Nota:** El ahorro de energía eléctrica no se toma en cuenta, dado que no se justifica la compra de las placas peltier.



**Figura 65.** Proyecciones del ahorro monetario en 15 años de GLP y no colocar el calefactor eléctrico, si se utilizara el AutoBioGen en la casa. (Elaboración propia)

<sup>7</sup> La cantidad de \$119,750.40 se dividió entre dos ya que la climatización por medio del calefactor eléctrico funciona durante las estaciones donde hace más frío que son otoño e invierno que es la mitad del año.

# Conclusiones

La búsqueda de nuevos productos que generen energía limpia en países en vías de desarrollo, que sean accesibles en costo, de fabricación sencilla y de fácil instalación es una tendencia que, en la actualidad, está comenzando a extenderse en México para resolver con recursos alternativos necesidades importantes de la sociedad. El biodigestor que se presenta en este caso ha sido desarrollado para que ayude a los usuarios de una casa a climatizar la sala y, al mismo tiempo, para disminuir el uso de energía eléctrica generada por medios convencionales (petróleo, gas natural, combustóleo); además, permite que el biogás generado en el AutoBioGen se utilice como combustible para la estufa.

Este proyecto ha fomentado la multidisciplina a través del uso de estrategias del diseño industrial y de la ingeniería electrónica aplicados a soluciones donde el diseño y el desarrollo de nuevos productos sean más amigables con el medio ambiente. El diseño industrial aporta la creatividad y la técnica para producir objetos útiles y estéticos que la sociedad pueda requerir para satisfacer sus necesidades; una de las herramientas más importantes con las que cuenta actualmente esta profesión son las impresoras 3D. Por este medio se imprimió un modelo a escala, lo que permitió comprobar el ensamble de las piezas que conforman al AutoBioGen.

Por otra parte, la ingeniería electrónica, que controla procesos industriales a través de microprocesadores, proveyó al presente desarrollo una de las herramientas más utilizadas, el Arduino, en específico el Arduino Uno, ya que cuenta con un circuito integrado mediante el cual se pueden escribir instrucciones usando un lenguaje de programación, el cual permite establecer programas que interactúan con circuitos electrónicos.

El proyecto que aquí se presenta fomenta el uso de las nuevas tecnologías a nivel doméstico para extender a nivel social el incremento y la eficiencia del ahorro de recursos naturales.

De acuerdo con la estructura metodológica planteada inicialmente en esta investigación doctoral, se puntualiza lo siguiente:

Se estableció en la hipótesis que si se instala el AutoBioGen en la casa se evitará la emisión de 2 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> cada 45 días a la atmósfera, en tanto que, con base en lo obtenido en la presente investigación, se impidió la emisión de 1.057 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> cada 45 días, por lo que hay una diferencia de 1 m<sup>3</sup>, lo anterior se puede explicar debido a que en el excremento se mezcla con agua jabonosa con esto la producción de CH<sub>4</sub> disminuye, dado que las bacterias metanogénicas mueren por la presencia de jabón, por esta razón se implementó la trampa de sólidos y agua jabonosa, con el fin de separar el excremento del agua que contiene jabón

Herrero señala que una persona de 50 kg produce 0.50 Kg de excremento al día; en la medición del excremento se concluyó que el hombre de 86 kg produce 0.60 kg de excremento al día y las mujeres, en promedio, generaron 0.30 kg de excremento, por lo que se puede concluir que factores como la dieta, la cantidad de comida, el sexo y la masa corporal de los sujetos influye en la producción del excremento.

Herrero (2008), indica que 1 kg de excremento humano produce 0.075 m<sup>3</sup> biogás, lo cual no concuerda con lo obtenido, ya que en la presente investigación se obtuvo como resultado que 1 kg de excremento generó 0.0125 m<sup>3</sup> de biogás. El decremento puede explicarse debido a que, si el excremento se mezcla con agua jabonosa la fermentación será nula dado que las bacterias metanogénicas mueren, por esta razón se implementó la trampa de agua jabonosa y de sólidos, con el fin de separar el excremento del agua jabonosa pero, aunque en pequeñas cantidades, la excreta pasó al contenedor de excremento del AutoBioGen afectando la cantidad de biogás generado.

Se planteó que el AutoBioGen contribuiría a conservar una temperatura promedio de 15 a 20°C, reduciendo el uso de calentones, calefactores, bombas de calor o reversibles. En el experimento se obtuvo como resultado que el agua que circula a través de la manguera de PVC tiene una la temperatura promedio de 51.5°C, con lo cual se concluye que se puede utilizar dicha temperatura para climatizar la sala comedor mediante el zoclo térmico. Se determina, por tanto, que el zoclo térmico no climatiza los 28 m<sup>2</sup> que conforman la sala comedor de la casa, dado que este zoclo solo funcionaría para



espacios con un área menor de 16 m<sup>2</sup>, por lo que se propone hacer una climatización mediante suelo radiante.

De igual forma, se concluye que los 1.057 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> generados en el AutoBioGen pueden servir como combustible para la estufa marca Mabe modelo em7605. La conexión de la estufa al AutoBiogen no se realizó debido a que los quemadores de la estufa de GLP se tienen que cambiar por unos que funcionen con CH<sub>4</sub>, ya que la salida de los quemadores de GLP y de CH<sub>4</sub> son diferentes pues estos últimos requieren menos presión para su funcionamiento. Por tanto, se hizo la recomendación de que se compre una estufa de biogás para no invertir en la estufa existente con un cambio de quemadores.

Se propuso la instalación de cinco placas peltier en el AutoBiogen para reducir el consumo de electricidad (generada por CFE o la IP), dado que las placas funcionarían como un generador eléctrico, produciendo 0.3125 kWh al día. De acuerdo con el experimento, se obtuvo como resultado la generación de 0.0006498 kWh, con lo cual hay una diferencia de 0.3118502 kWh, esto se debe a la que la transferencia de calor del agua en la manguera de PVC es insuficiente para que las placas peltier generen más electricidad. Para resolver lo anterior, el agua debe sustituirse por un líquido que posea una mejor transferencia de calor, asimismo, hay que reemplazar la manguera de PVC por una tubería que incremente la transferencia de calor.

Se concluye que el excremento ya fermentado y el agua tratada deben analizarse a través de pruebas de laboratorio especializados y bajo las normas oficiales mexicanas. Este examen no se llevó a cabo debido a que existen otras investigaciones que se enfocan en esos temas.

En el objetivo general se planteó la reducción del CH<sub>4</sub> generado por la fermentación del excremento humano al aire libre; de acuerdo con los datos obtenidos en el experimento parte de la presente investigación, se confirma la disminución de las emisiones de 1.057 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> cada 45 días (22.197 m<sup>3</sup> de CO<sub>2eq</sub>), en una casa habitación para cuatro personas.

Los resultados presentan que el ahorro de energía al colocar el AutoBioGen es de 0.7335 kWh, ya que sustituye el calefactor eléctrico (el consumo de energía eléctrica del calefactor marca Bonaire modelo BFH416-LA013 es de 733.5 Wh).

Se comprobó que el costo del AutoBioGen es de \$4,471.052 pesos y el beneficio económico proyectado a 15 años sería de \$90,150.15 pesos en el gasto doméstico si se utilizara el AutoBioGen.

A través del experimento efectuado se comprobó que el AutoBioGen se podría colocar en edificios multifamiliares o en casas habitación pequeñas y grandes, modificando las dimensiones del AutoBioGen de acuerdo con cada espacio, ya que en esta tesis se establecen los cálculos para obtener dichas dimensiones, partiendo de datos como cantidad de personas y de excremento generado.

De acuerdo con el experimento realizado en el capítulo tres, se construyó el AutoBioGen con piezas comerciales, como botes y cajas, entre otros, utilizándose en total 52 piezas. Por tanto, se determinó que, mediante los programas de DAC se podría rediseñar el AutoBioGen con menos partes; a través de estas mejoras se requerirían únicamente 25 componentes para su montaje. El diseño que aquí se propone se imprimió en 3D para tener una maqueta a escala y observar los detalles de éste.

### **Nuevas Investigaciones sobre biodigestores**

Como se ha señalado, los biodigestores son contenedores que ayudan a disminuir el impacto ambiental producido por la fermentación anaerobia de los residuos orgánicos, así como por las excreciones humanas o animales. Además, los biodigestores conllevan mejoras económicas al aprovechar el biogás, sustituir el consumo de GLP e, incluso, reducir la compra de fertilizantes puesto que el residuo se aprovecha como abono.

En las comunidades rurales es difícil satisfacer las necesidades básicas de combustible a causa de la falta de infraestructura o de mano de obra calificada, por lo anterior es una buena opción la implementación de esta clase de biodigestores en tales comunidades.

Con el diseño del AutoBioGen se pretende que las comunidades rurales tengan una guía básica para la construcción de estos contenedores y aprovechen el excremento animal para generar biogás.

Una nueva investigación sobre biodigestores puede abordar el uso de las heces de animales domésticos, en especial los perros, debido a que ese tipo de excretas pueden transmitir algunas enfermedades al humano, aparte de contaminar fuentes de agua y/o la atmósfera, dado que su fermentación al aire libre genera biogás. Esta situación es muy grave en las zonas metropolitanas de México ya que, por ejemplo, un perro con un peso de 15 kg produce 600 g de heces al día, lo cual implica que al mes se generen 18 kg de heces caninas. Con el diseño de un biodigestor se puede resolver la contaminación anteriormente mencionada, lo que beneficiaría al medio ambiente y al ser humano.

Otras líneas de estudio que pueden surgir a partir de esta investigación son:

- Cantidad de excremento generado por diferentes sujetos.
- Climatización por suelo radiante.
- Biogás como combustible para un calentador de agua.

# **Fuentes consultadas**

## Libros

- Baptista Lucio, Pilar. Fernández Collado, Carlos. Hernández Sampieri, Roberto. (2010). *Metodología de la investigación*. (5ª ed.). México: Mc Graw Hill. 76-116 pp.
- Cruz Nuñez Xóchitl, Delgado Ramos Gian Carlo, Oswald Spring Ursula. (2105). *Mexico ante la urgencia climática: ciencia, política y sociedad*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Programa de Investigación en Cambio Climático. 10-150 pp.
- Giancoli C., Douglas. (2006). *Física Principios con Aplicación*. (6º. ed.). México: Pearson Educación. 300-450 pp.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2008). *¿Y el medio ambiente? Problema en México y el mundo*. México. Comisión Nacional de Libros de Texto Gratuito. 50-192 pp.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático: Bases científicas, Modelos y modelación, libro 1*. México: UNAM, Programa de Investigación en Cambio Climático. 205-219 pp.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático: Impacto, Vulnerabilidad y Adaptación, libro 2*. México: UNAM, Programa de Investigación en Cambio Climático. 211-257 pp.
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2015). *Reporte Mexicano de Cambio Climático: Emisiones y Mitigación de Gases Efecto Invernadero, libro 3*. México: UNAM, Programa de Investigación en Cambio Climático. 211-257 pp.

## Revista

- Bono de Carbón. *Brasil.gov*. Recuperado el 24 de marzo de 2013. [[http://www.brasil.gov.br/sobre/medio-ambiente/clima/bono-carbono/br\\_model1?set\\_language=es](http://www.brasil.gov.br/sobre/medio-ambiente/clima/bono-carbono/br_model1?set_language=es)]
- Burke Marshall, Edward Miguel, Salomon M. Hsiang. (2013). Quantifying the Influence of Climate on Human Conflict. *Sciencemag.org*. Recuperado el 07 de Agosto de 2013. [<http://www.sciencemag.org/content/early/2013/07/31/science.1235367>]
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). (2015). Composcan: energía eléctrica a partir de heces caninas. *Conacytprensa.com*. Recuperado el 27 de agosto de 2015. [<http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/energia/2559-composcan-energia-electrica-a-partir-de-popo-de-perro>]
- Enciso L. Angélica. (2011). México, quinto lugar en proyectos del mercado de carbono: SEMARNAT. *lajornada.mx*. Recuperado el 08 de julio de 2012. [<http://www.jornada.unam.mx/2011/02/09/sociedad/043n2soc>]
- Lavelle, Marianne. (2013). Los pros y contras del fracking. *National Geographic*. Recuperado el 06 de marzo de 2015. [[http://www.nationalgeographic.com.es/articulo/ng\\_magazine/reportajes/8125/los\\_pros\\_los\\_contras\\_d\\_el\\_fracking.html](http://www.nationalgeographic.com.es/articulo/ng_magazine/reportajes/8125/los_pros_los_contras_d_el_fracking.html)]
- Muciño Francisco. (2013). Gas shale, el otro dilema de la reforma energética. *Forbes.com. mx*. Recuperado el 01 de agosto de 2013. [<http://www.forbes.com.mx/sites/gas-shale-el-otro-dilema-de-la-reforma-energetica/>]

O'Keefe Brian. (2012). Exxon apuesta todo al shale gas. *cnnexpansion.com*. Recuperado el 17 de abril de 2014. [<http://www.cnnexpansion.com/negocios/2012/04/17/la-gran-nueva-apuesta-de-exxon>]

Vera Ku C. Juan. (2012). Emisiones de metano por rumiantes. *Conacyt.gob.mx*. Recuperado el 30 de mayo de 2013. [<http://www.cyd.conacyt.gob.mx/259/articulos/emisiones-de-metano.html>]

## Tesis

Pascual Francisco Juan Benito. (2011). *Rediseño y ensayo de un biodigestor en la granja experimental de la Universidad Autónoma Chapingo*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo. 96 pp. Recuperado el 13 de febrero de 2013. [[www.chapingo.mx/dima/contenido/tesis2011/tesisPascual.pdf](http://www.chapingo.mx/dima/contenido/tesis2011/tesisPascual.pdf)]

## Páginas electrónicas

Alumnos de la escuela Avellaneda Automatizaron un biodigestor y fueron elegidos por Siemens. (2012). *ellitoral.com*. Recuperado el 26 de noviembre de 2013. [[http://www.ellitoral.com/index.php/id\\_um/80933](http://www.ellitoral.com/index.php/id_um/80933)]

AMEXGAS. (2018). Precio del gas LP precio actual (15 de abril 2018). Recuperado el 03 de mayo 2018. [<https://www.gob.mx/cre/documentos/precios-al-publico-de-gas-lp-reportados-por-los-distribuidores>]

Aristegui Carmen. (2013). *Otras explosiones por gas metano en el mundo; principalmente en minas*. Recuperado el 29 de junio de 2015. [<http://aristeginoticias.com/0502/mexico/explosiones-por-gas-metano-ocurren-principalmente-en-minas/>]

Arvizu FJL, Barrera CG, Salazar GG. (2008). *Tecnología para biodigestores en granjas pequeñas en México (Enfoque a Sistema Integrados)*. Recuperado el 25 de marzo de 2013. [[http://www.globalmethane.org/documents/events\\_ag\\_20080423\\_gerardo\\_salazar.pdf](http://www.globalmethane.org/documents/events_ag_20080423_gerardo_salazar.pdf)]

Bautista Iván Mario. (2013). *Crean docentes de UVM, el primer sistema de generación, acondicionamiento, purificación y presurizado tipo portátil de biogás en México*. Recuperado el 31 de mayo de 2015. [[http://www.argonmexico.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=36823:crean-docentes-de-uvm-el-primer-sistema-de-generacion-acondicionamiento-purificacion-y-presurizado-tipo-portatil-de-biogas-en-mexico&catid=113:universitarias&Itemid=370](http://www.argonmexico.com/index.php?option=com_content&view=article&id=36823:crean-docentes-de-uvm-el-primer-sistema-de-generacion-acondicionamiento-purificacion-y-presurizado-tipo-portatil-de-biogas-en-mexico&catid=113:universitarias&Itemid=370)]

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012). *Ley general de cambio climático*. Recuperado el 28 de mayo de 2015. [[http://www.inecc.gob.mx/descargas/2012\\_lgcc.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/2012_lgcc.pdf)]

Cerrato Ferrera Ronald, Barra Etchevers Jorge, Fregoso Soria, Manuel de Jesús, Gómez Borges Lizette, Gonzales Alcántara Gabriel, Pérez Pereyda Gaspar, Santos Trinidad José. (2010). *Producción de Biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo*. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2, Conkal. Yucatán e Instituto de Recursos Naturales, Especialidad Edafología. Colegio de Posgraduados, Montecillos, Estado de México. Recuperado el 10 de agosto de 2013. [<http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/simposio/6soria.pdf>]

Comisión Europea. (2016). Acuerdo de París. Recuperado el 16 de enero de 2017. [[https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es)]

CFE (Comisión Federal de Electricidad). (2017). Tarifa 1. Recuperado el 03 de mayo de 2018. [[https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas\\_casa.asp?Tarifa=DACTAR1&anio=2018](https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=DACTAR1&anio=2018)]

- Delegación Milpa Alta. (2015). *Instalarán biodigestor en el Centro de Acopio de Nopal de Milpa Alta*. Recuperado el 29 de mayo de 2015. [<http://www.milpa-alta.df.gob.mx/index.php/ano-2014/agosto-2014/81-noticias-mes-de-noviembre-2014/1507-instalaran-biodigestor-en-el-centro-de-acopio-de-nopal-de-milpa-alta>]
- Estados Unidos Mexicanos (Gobierno de la República). (2013-2018). *Plan Nacional de Desarrollo*. Recuperado el 02 de agosto de 2013. [<http://pnd.gob.mx/wp-content/uploads/2013/05/PND.pdf>]
- Gestión de la Calidad y BPA. (2013). *Abono orgánico*. Recuperado el 22 de marzo de 2015. [[http://bpa.peru-v.com/abono\\_organico.htm](http://bpa.peru-v.com/abono_organico.htm)]
- Gobierno del Estado de México. (2013). *Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero*. Recuperado el 13 de agosto de 2015. [[http://portal2.edomex.gob.mx/sma/cuida\\_medioambiente/publicaciones\\_sma/documentos\\_tecnicos/grupos/public/documents/edomex\\_archivo/sma\\_pdf\\_iegei\\_2013.pdf](http://portal2.edomex.gob.mx/sma/cuida_medioambiente/publicaciones_sma/documentos_tecnicos/grupos/public/documents/edomex_archivo/sma_pdf_iegei_2013.pdf)]
- Gobierno del Estado de México. (2015). *Secretaría de Comunicaciones. Transporte Masivo*. Recuperado el 15 de enero de 2015. [[http://portal2.edomex.gob.mx/secom/transporte\\_masivo/tren\\_suburbano\\_transmexiquense\\_bicentenario/index.htm](http://portal2.edomex.gob.mx/secom/transporte_masivo/tren_suburbano_transmexiquense_bicentenario/index.htm)]
- Henríquez Francisco. (2011). *Desechos humanos como fertilizante en Nigeria*. Recuperado el 07 de enero de 2014. [<http://www.veoverde.com/2011/10/desechos-humanos-como-fertilizante-en-nigeria/>]
- Herrero Martí Jaime. (2008). *Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano*. Recuperado el 14 de diciembre de 2013. [[http://grecdh.upc.edu/publicacions/lilibres/documents/2008\\_jmh\\_guia\\_biodigestores.pdf](http://grecdh.upc.edu/publicacions/lilibres/documents/2008_jmh_guia_biodigestores.pdf)]
- Innovador retrete transforma orina y heces en abono y combustible. El primer prototipo del inodoro. Llamado No-Mix Vacuum empezará el año próximo a prestar servicio en los excusados de una universidad de Singapur. (2012). *elinformador.com.mx*. Recuperado el 17 de enero de 2014. [<http://movil.informador.com.mx/tecnologia/2012/389388/6/innovador-retrete-transforma-orina-y-heces-en-abono-y-combustible.htm>]
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2010). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de efecto Invernadero 1990-2010*. Recuperado el 05 de marzo de 2015. [[http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf\\_inegei\\_public\\_2010.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf)]
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado el 16 de septiembre de 2014. [<http://www.inegi.org.mx/default.aspx>]
- INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores). (2016). *Compra de casas nuevas o usadas*. Recuperado el 02 de julio de 2017. [[https://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/trabajadores/quiero\\_un\\_credito/en+que+puedo+usar+mi+credito/credito/vivienda\\_nueva](https://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/trabajadores/quiero_un_credito/en+que+puedo+usar+mi+credito/credito/vivienda_nueva)]
- Kahn Jeremy. (2008). *El biogás es el negocio del futuro*. *cnnexpansion.com*. Recuperado el 21 de enero de 2013. [<http://www.cnnexpansion.com/negocios/2008/02/28/el-biogas-es-el-negocio-del-futuro>]
- Lordméndez Paulina. (2015). *Zoológico mexicano produce biogás con excremento de elefantes*. Recuperado el 29 de mayo de 2015. [<https://www.veoverde.com/2015/01/zoologico-mexicano-produce-biogas-con-excremento-de-elefantes/>]

- MABE. (2013). *Manual de uso y cuidado de estufas de piso*. Recuperado el 23 de abril de 2015. [[http://www.mabe.com.mx/docs/default-source/default-document-library/em7600bb5\\_manual-de-producto.pdf?Status=Master&sfvrsn=0](http://www.mabe.com.mx/docs/default-source/default-document-library/em7600bb5_manual-de-producto.pdf?Status=Master&sfvrsn=0)]
- Mercado libre. (2017). *Rotomoldeo Polietileno Negro*. Recuperado el 12 de marzo de 2017. [<https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-588542881-rotomoldeo-polietileno-negro- JM>]
- Methane to Markets. (2008). *La importancia del metano y las actividades de reducción de sus emisiones*. Recuperado el 17 de enero de 2013. [[http://www.globalmethane.org/documents/methane\\_fs\\_spa.pdf](http://www.globalmethane.org/documents/methane_fs_spa.pdf)]
- Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero alcanza su nuevo record*. Recuperado el 06 de marzo de 2015. [[http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_965\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_965_es.html)]
- PROFECO (Procuraduría Federal del Consumidor). (2012). *Calefactor eléctrico de cuarto*. Recuperado el 09 de diciembre de 2013. [[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100494/RC429\\_Estudio\\_Calefactores.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100494/RC429_Estudio_Calefactores.pdf)]
- Rodríguez Manolo. (2009). *Tema 7. Moldeo rotacional UA*. Recuperado el 05 de abril de 2018. [<http://iq.ua.es/TPO/Tema7.pdf>]
- Rotoplas. (2016). *Biodigestor Autolimpiable*. Recuperado el 27 de febrero de 2016. [[http://www.rotoplas.com/assets/files/gobierno/GiaBiodig\\_Sept2012.pdf](http://www.rotoplas.com/assets/files/gobierno/GiaBiodig_Sept2012.pdf)]
- Sanz Javier. (2010). *The Park Spark Project, generando energía a partir de excrementos caninos*. Recuperado el 31 de mayo de 2015. [[http://nomadaq.blogspot.mx/2010/10/energias-renovables-park-spark-project\\_22.html](http://nomadaq.blogspot.mx/2010/10/energias-renovables-park-spark-project_22.html)]
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2011). *Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México*. Recuperado el 05 de enero de 2013. [<http://www.rembio.org.mx/2011/Documentos/Publicaciones/C2/diagnostico-nacional-de-biodigestores.pdf>]
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2012). *Implementación de Biodigestores para pequeños y medianos productores porcícolas*. Recuperado el 14 de enero de 2013. [[http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones\\_nuevas/Implementaci%C3%B3n%20de%20Biodigestores%20para%20peque%C3%B1os%20y%20medianos%20productores%20porc%C3%ADcolas.pdf](http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones_nuevas/Implementaci%C3%B3n%20de%20Biodigestores%20para%20peque%C3%B1os%20y%20medianos%20productores%20porc%C3%ADcolas.pdf)]
- SENER (Secretaría de Energía). (2012). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026*. Recuperado el 17 de abril 2011. [[http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/PSE\\_2012\\_2026.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PSE_2012_2026.pdf)]
- SENER (Secretaría de Energía). (2013). *¿Qué es el Shale/Oil y cuál es su importancia?*. Recuperado el 01 de agosto de 2013. [[http://www.energia.gob.mx/webSener/shale/shale\\_sp.html](http://www.energia.gob.mx/webSener/shale/shale_sp.html)]
- SENER (Secretaría de Energía). (2018). *Sistema de Información Energética*. Recuperado el 01 de agosto de 2018. [<http://sie.energia.gob.mx/favicon.ico>]
- SE (Secretaría de Economía). (2012). *"Fondo Pyme"*. Recuperado el 24 de mayo de 2018 [<http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/fondo-pyme-int>]



- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2006). *Ecohabitat, Experiencias rumbo a la sustentabilidad*. Recuperado el 27 de febrero de 2017. [<http://www.caminosostenible.org/wp-content/uploads/BIBLIOTECA/ecohabitat.pdf>]
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). *Registro de Emisiones y Traslado de Contaminantes (RETC)*. Recuperado el 15 de enero de 2015. [<http://app1.semarnat.gob.mx/retc/retc/index.php?opcion=1&anio=2010&param=01>]
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2018). *México protege hoy 90.6 millones de hectáreas terrestres y marinas*. Recuperado el 01 de septiembre de 2018. [<https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mexico-protege-hoy-90-6-millones-de-hectareas-terrestres-y-marinas?idiom=es>]
- Sistema Nacional de Información Municipal. (2013). *Texcoco*. Recuperado el 21 de febrero de 2015. [<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15099a.html>]
- Vera Guevara Antonio. (1996). *Fundamentos Básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*. Recuperado el 15 de diciembre de 2012. [<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>]
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2007). *Feria de las ciencias de la UNAM*. Recuperado el 10 de marzo de 2015. [[http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria382\\_01\\_efecto\\_seebec\\_y\\_peltier.pdf](http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria382_01_efecto_seebec_y_peltier.pdf)]
- UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). (2018). *Escherichia coli diarrogénica*. Recuperado el 02 de marzo de 2018. [<http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/bacteriologia/escherichia-coli.html>]

# Anexos

## A.1 Características técnicas de la báscula de cocina

### Báscula de cocina T-Fal Optiss Gris

- Marca: T-Fal
- Modelo: BC5004V1
- Color: Gris
- Pesaje máximo: 5 kg
- Precisión: De 0 gramos a 1 kg la precisión es de 1 g, mientras que de 1 kg a 5 kg es de 5 g.
- Dimensiones: Alto 22 cm, Ancho 21.5 cm y Profundidad 17.5 cm
- Pantalla: LCD
- Unidades: Gramos/Onzas
- Apagado automático
- Función de calibrado digital
- Precio: \$472



**Figura A.1.** Báscula de cocina T-Fal Optiss Gris. (Elaboración propia)

### A.1.1 Características físicas y de dieta de los sujetos de la casa habitación

#### Sujeto 1

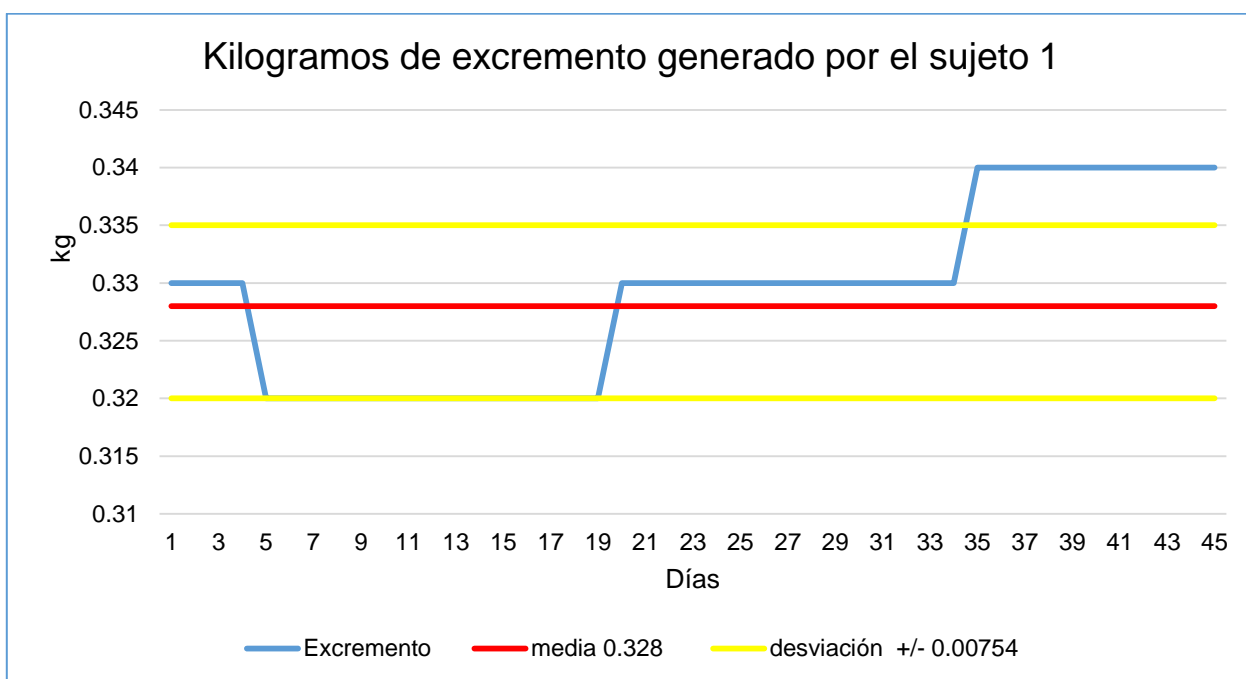
Se midió con una báscula de cocina. El excremento generado por el sujeto 1 que habita en la casa, durante 45 días (del 21 de septiembre al 03 de noviembre 2015), se muestra en la Tabla A.1:

**Tabla A.1.** Excremento generado durante 45 días por el sujeto 1. (Elaboración propia)

Sujeto 1		Sexo	Edad	Peso	Ocupación	Dieta
		Femenino	55	64 kg	Ama de casa	No

días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento
1	0.330	11	0.320	21	0.330	31	0.330	41	0.340
2	0.330	12	0.320	22	0.330	32	0.330	42	0.340
3	0.330	13	0.320	23	0.330	33	0.330	43	0.340
4	0.330	14	0.320	24	0.330	34	0.330	44	0.340
5	0.320	15	0.320	25	0.330	35	0.340	45	0.340
6	0.320	16	0.320	26	0.330	36	0.340	Total	14.80
7	0.320	17	0.320	27	0.330	37	0.340	media	0.328
8	0.320	18	0.320	28	0.330	38	0.340	varianza	0.000057
9	0.320	19	0.320	29	0.330	39	0.340	desviación	+/- 0.00754
10	0.320	20	0.330	30	0.330	40	0.340		



**Figura A.2.** Kg de Excremento generado durante 45 días por el sujeto 1. (Elaboración propia)

**Tabla A.2.** Comidas del sujeto 1. (Elaboración propia)

Desayuno 6:00 am
No tiene un alimento en específico el cual coma o tome en el desayuno
Comida 4:00 pm
Pechuga/Res/Atún/Pescado/Puerco/Borrego (Asado o guisado) + Sopa de verduras (Cocida o cruda) + Caldo de pechuga o pescado
Cena 9:00 pm
No tiene un alimento en específico el cual coma o tome en el cena
No tiene ninguna restricciones
Toma más de un litro diario de refresco o bebidas azucaradas, tres panes de sal máximo, 6 o 7 tortillas a día, papas fritas 4 veces a la semana

**Sujeto 2**

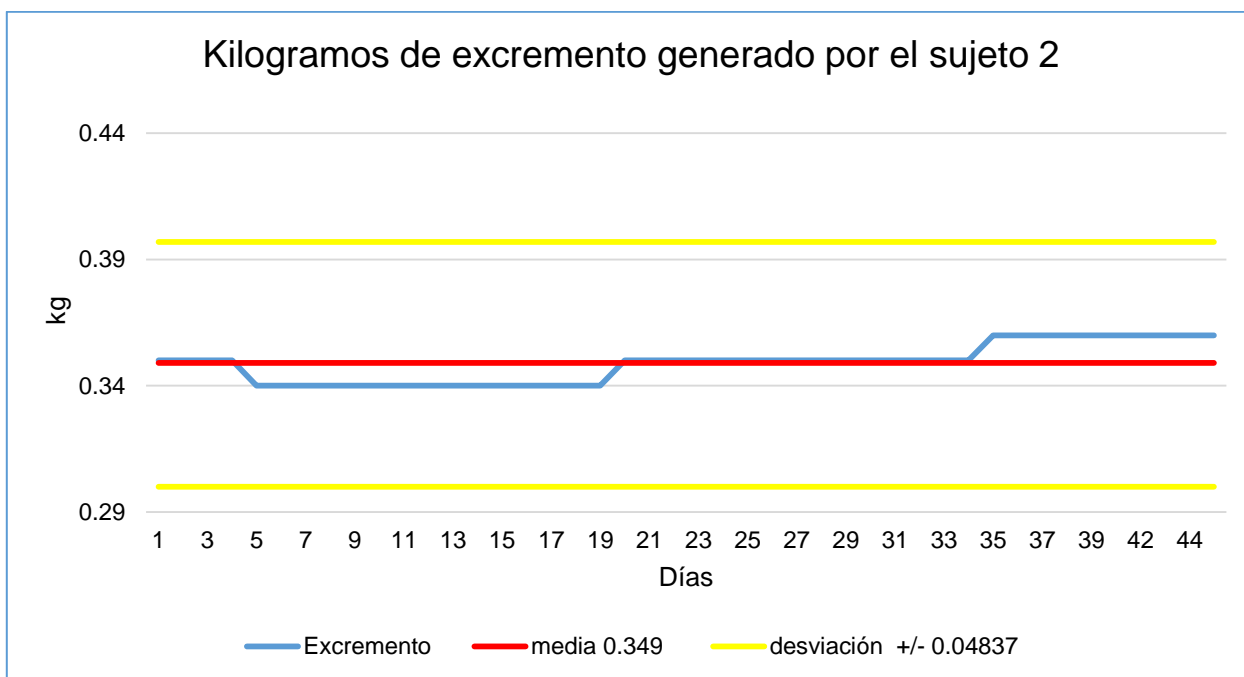
Los datos obtenidos del excremento generado por el sujeto 2 que habita en la casa, durante 45 días (del 21 de septiembre al 03 de noviembre 2015) fueron los siguientes (Tabla A.3):

**Tabla A.3.** Excremento generado durante 45 días por el sujeto 2. (Elaboración propia)

Sujeto 2		Sexo	Edad	Peso	Ocupación	Dieta
		Femenino	32	78 kg	Licenciada	No

días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento
1	0.350	11	0.340	21	0.350	31	0.350	41	0.360
2	0.350	12	0.340	22	0.350	32	0.350	42	0.360
3	0.350	13	0.340	23	0.350	33	0.350	43	0.360
4	0.350	14	0.340	24	0.350	34	0.350	44	0.360
5	0.340	15	0.340	25	0.350	35	0.360	45	0.360
6	0.340	16	0.340	26	0.350	36	0.360	Total	15.71
7	0.340	17	0.340	27	0.350	37	0.360	media	0.349
8	0.340	18	0.340	28	0.350	38	0.360	varianza	0.00234
9	0.340	19	0.340	29	0.350	39	0.360	desviación	+/- 0.04837
10	0.340	20	0.350	30	0.350	40	0.360		



**Figura A.3.** Kg de Excremento generado durante 45 días por el sujeto). (Elaboración propia)

**Tabla A.4.** Comidas del sujeto 2. (Elaboración propia)

Desayuno 6:00 am
No tiene un alimento en específico el cual coma o tome en el desayuno
Comida 4:00 pm
Pechuga/Res/Atún/Pescado/Puerco/Borrego (Asado o guisado) + Sopa de verduras (Cocida o cruda) + Caldo de pechuga o pescado
Cena 9:00 pm
No tiene un alimento en específico el cual coma o tome en el cena
No tiene ninguna restricciones
Toma más de un litro diario de refresco o bebidas azucaradas, tres panes de sal máximo, 6 o 7 tortillas a día, papas fritas 4 veces a la semana

### Sujeto 3

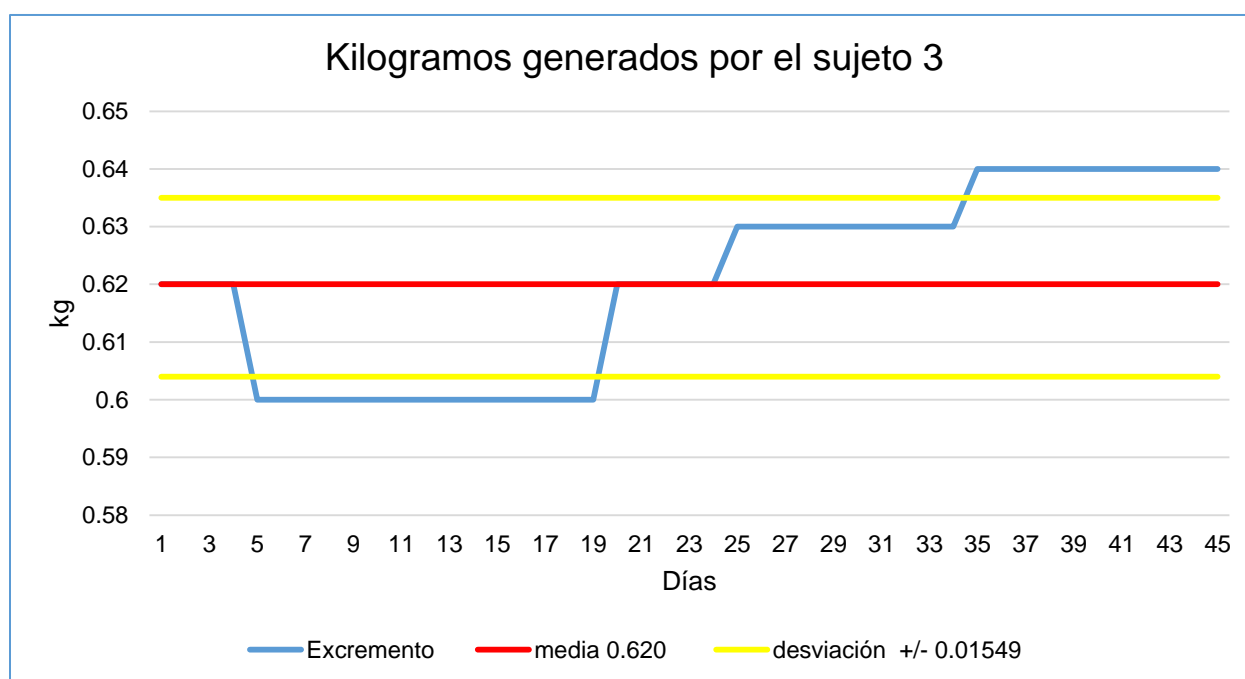
Los datos obtenidos del excremento generado por el sujeto 3 que habita en la casa, durante 45 días (del 21 de septiembre al 03 de noviembre 2015) fueron los siguientes (Tabla A.5).

**Tabla A.5.** Excremento generado durante 45 días por el sujeto 3. (Elaboración propia)

Sujeto 3		Sexo	Edad	Peso	Ocupación	Dieta	
		Masculino	28	80 kg	Estudiante	Si	

días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento
1	0.620	11	0.600	21	0.620	31	0.630	41	0.640
2	0.620	12	0.600	22	0.620	32	0.630	42	0.640
3	0.620	13	0.600	23	0.620	33	0.630	43	0.640
4	0.620	14	0.600	24	0.620	34	0.630	44	0.640
5	0.600	15	0.600	25	0.630	35	0.640	45	0.640
6	0.600	16	0.600	26	0.630	36	0.640	Total	27.92
7	0.600	17	0.600	27	0.630	37	0.640	media	0.620
8	0.600	18	0.600	28	0.630	38	0.640	varianza	0.00024
9	0.600	19	0.600	29	0.630	39	0.640	desviación	+/- 0.01549
10	0.600	20	0.620	30	0.630	40	0.640		



**Figura A.6.** Kg de Excremento generado durante 45 días por el sujeto 3. (Elaboración propia)

**Tabla A.7. Comidas del sujeto 3 (Elaboración propia)**

Aperitivo 6:30 pm			
Gelatina light+ 20 almendras+10 mitades de nuez			
Desayuno 10:00 am			
Plato 1	Plato 2	Plato 4	Plato 4
4 o 5 huevos Con nopales Con elotes Con calabazas 4 o 5 rebanadas de jamón 100 g de queso panela	Tinga de pollo	Bistec a la mexicana O Alambre O Tinga	4 atunes Guisado Vizcaína mexicana
Aperitivo 1:00 pm			
Jícama/pepino/zanahoria + 1 o 2 naranjas + cacahuates o semilla de girasol			
Comida 3:00 o 4:00 pm			
Pechuga/Res/Atún/Pescado/Puerco/Borrego (Asado o guisado) + Sopa de verduras (Cocida o cruda) + Caldo de pechuga o pescado			
Aperitivo 6:00 pm			
Jícama/pepino/zanahoria + 1 o 2 naranjas + 60 semillas oleaginosas			
Cena 9:00 pm			
Pechuga/Res/Atún/Pescado (Asado o guisado) Huevo al gusto			
Restricciones			
No leche; no pan; no tortilla; no azúcar; no refrescos; no harinas; no queso normal;			

**Sujeto 4**

Los datos obtenidos del excremento generado por el sujeto 4 que habita en la casa, durante 45 días (del 21 de septiembre al 03 de noviembre 2015) fueron los siguientes (Tabla A.8).

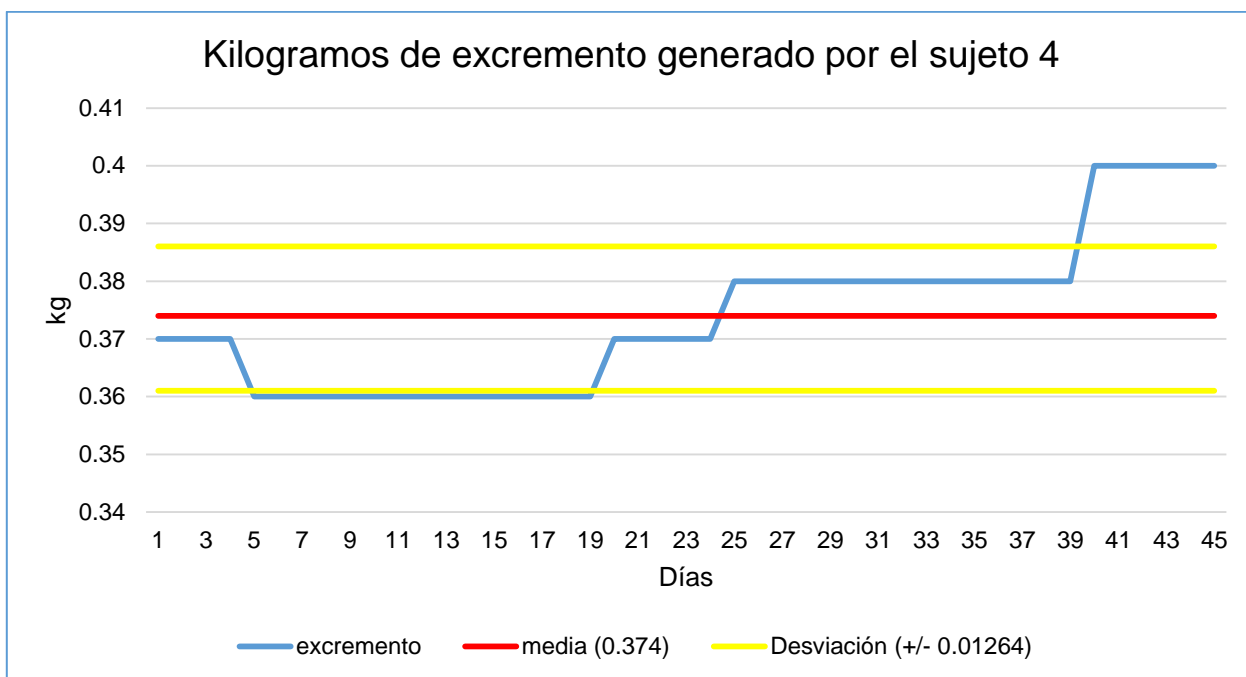
**Tabla A.8. Excremento generado durante 45 días por el sujeto 4. (Elaboración propia)**

Sujeto 4		Sexo	Edad	Peso	Ocupación	Dieta
		Femenino	22	60 kg	Estudiante	No

días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento	días	Kg de excremento
1	0.370	11	0.360	21	0.370	31	0.380	41	0.400
2	0.370	12	0.360	22	0.370	32	0.380	42	0.400
3	0.370	13	0.360	23	0.370	33	0.380	43	0.400
4	0.370	14	0.360	24	0.370	34	0.380	44	0.400
5	0.360	15	0.360	25	0.380	35	0.380	45	0.400
6	0.360	16	0.360	26	0.380	36	0.380	Total	16.83
7	0.360	17	0.360	27	0.380	37	0.380	media	0.374
8	0.360	18	0.360	28	0.380	38	0.380	varianza	0.00016
9	0.360	19	0.360	29	0.380	39	0.380	desviación	+/- 0.01264
10	0.360	20	0.370	30	0.380	40	0.400		





**Figura A.7.** Kg de Excremento generado durante 45 días por el sujeto 4. (Elaboración propia)

**Tabla A.9.** Comidas del sujeto 4. (Elaboración propia)

Desayuno 6:00 am
No tiene un alimento en específico el cual coma o tome en el desayuno
Comida 4:00 pm
Pechuga/Res/Atún/Pescado/Puerco/Borrego (Asado o guisado) + Sopa de verduras (Cocida o cruda) + Caldo de pechuga o pescado
Cena 9:00 pm
No tiene un alimento en específico el cual coma o tome en el cena
No tiene ninguna restricciones
Toma más de un litro diario de refresco o bebidas azucaradas, tres panes de sal máximo, 6 o 7 tortillas a día, papas fritas 4 veces a la semana

## A.2 Planos del AutoBioGen construido (Archivo electrónico)

### A.3 Características técnicas de los termómetros digitales

El Termómetro digital utilizado para medir la temperatura dentro del AutoBioGen.

Termómetro digital de cocina marca Marca Bratenthermometer modelo JR-1, presenta las siguientes características:

- Termómetro para usos múltiples
- Sensor de acero inoxidable de 11 cm de largo
- Rango de medida: 50°C a 300 °C (58°F a 572°F)
- Switch para grados °C y °F
- Apagado automático
- Indicador de batería baja
- Cubierta protectora
- Lectura de hasta 0.1°C
- Tipo de batería 1x1.5v, LR44 de botón



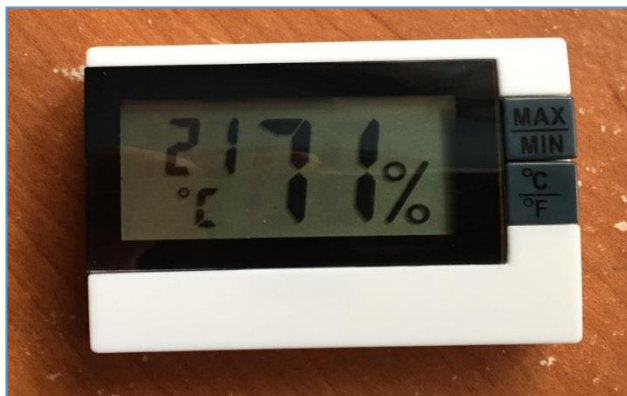
**Figura A.10.** Termómetro digital de cocina. (Elaboración propia)

Termómetro utilizado para medir la temperatura ambiente del AutoBioGen.

Termómetro marca higrómetro digital LCD-reloj no-Mini

- Rango de temperatura: -50 ° C a +70 °C (-58 °F A +158°F)
- Rango de humedad: 20% a 99 % HR
- Precisión: +/- 1°C (1.8°F), húmeda +/- 5 HR (40% a 80%)
- Dimensiones: 100 x 100 x 15 mm

- Peso aproximado 125 g



**Figura A.11.** Termómetro marca higrómetro digital Lcd-reloj no-Mini. (Elaboración propia)

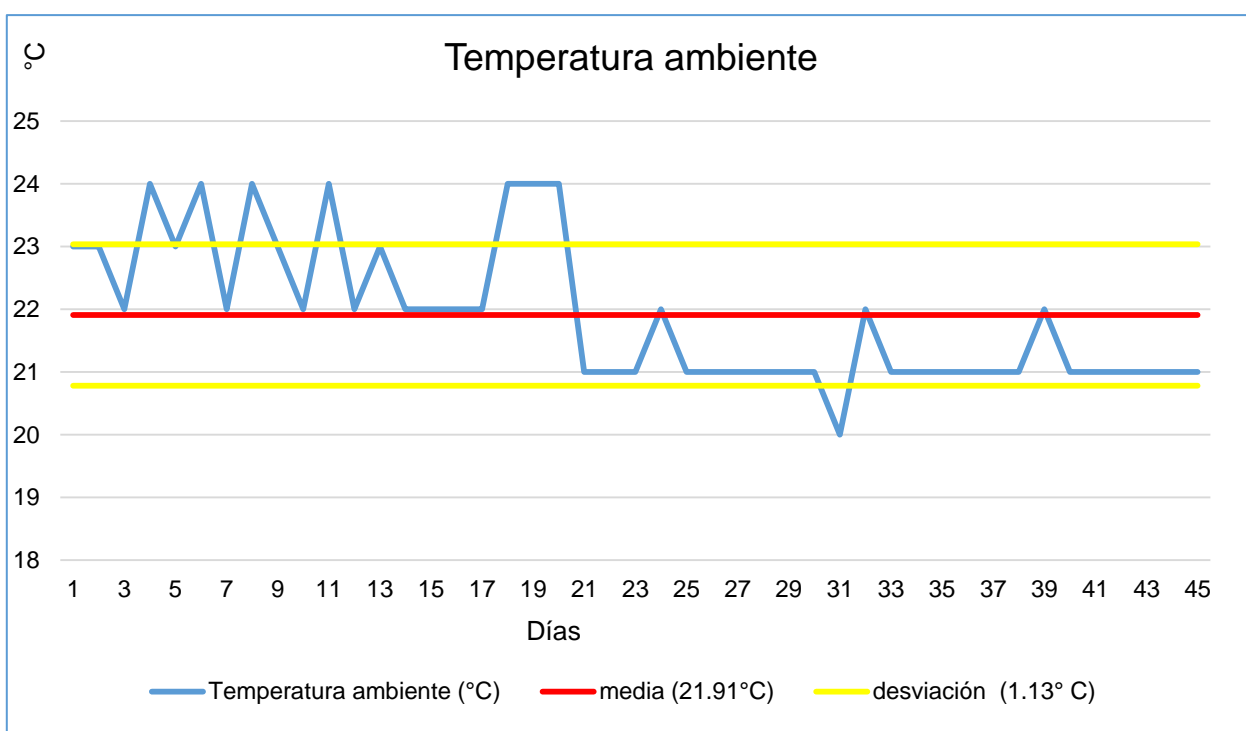
### A.3.1 Temperatura ambiente y temperatura dentro del AutoBioGen

La temperatura tomada dentro del AutoBioGen se midió utilizando el termómetro digital de cocina marca Bratenthermometer modelo JR-1, mientras que la temperatura ambiente, donde se instaló el AutoBioGen se midió usando el termómetro marca Higrómetro digital LCD-reloj no-Mini. Las temperaturas se midieron durante 45 días que fue el lapso de la experimentación (del 21 de septiembre al 03 de noviembre de 2015), tomándose las temperaturas se tomó a las 3:00 pm dado que a esa hora se alcanza la máxima temperatura ambiente (Tabla A.10).

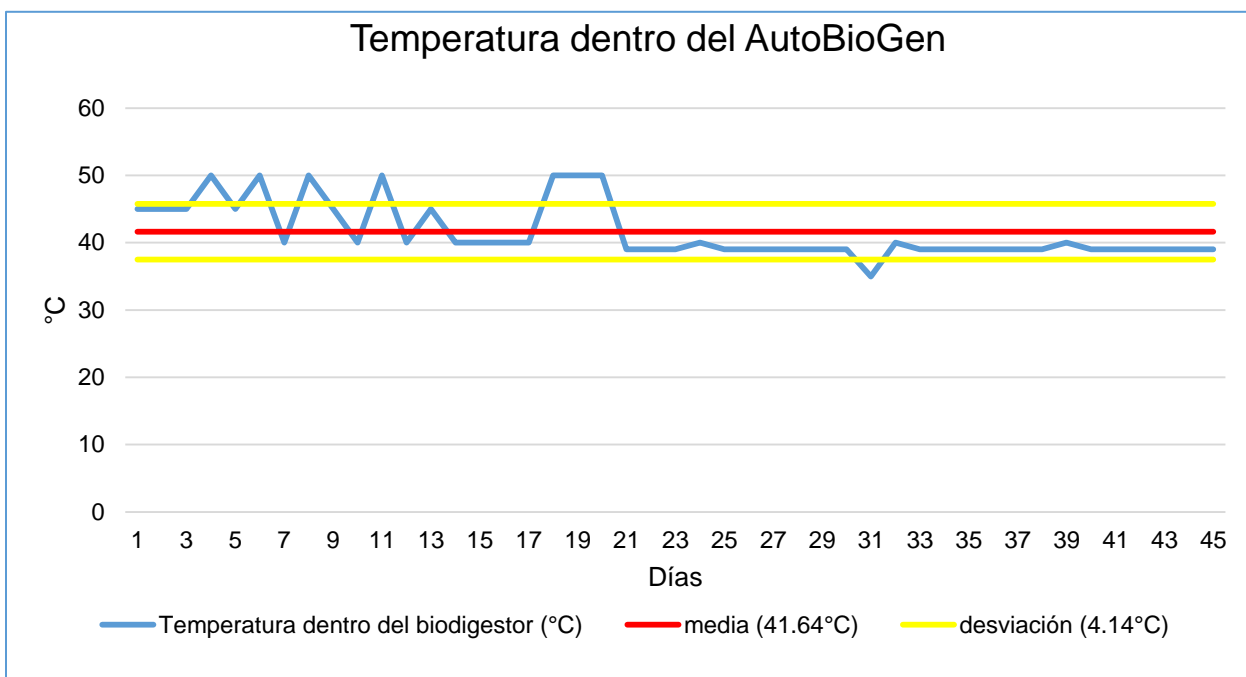
**Tabla A.10.** Temperatura tomada durante de la fermentación del excremento en 45 días  
(Elaboración propia)

Día	Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura dentro del AutoBioGen(°C)	Día	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura dentro del AutoBioGen (°C)
1	3:00 pm	23	45	24	22	40
2	3:00 pm	23	45	25	21	39
3	3:00 pm	22	45	26	21	39
4	3:00 pm	24	50	27	21	39
5	3:00 pm	23	45	28	21	39
6	3:00 pm	23	45	29	21	39
7	3:00 pm	22	40	30	21	39
8	3:00 pm	23	45	31	20	35
9	3:00 pm	23	45	32	22	45
10	3:00 pm	22	40	33	21	39
11	3:00 pm	23	45	34	21	39
12	3:00 pm	22	40	35	21	39
13	3:00 pm	23	45	36	21	39

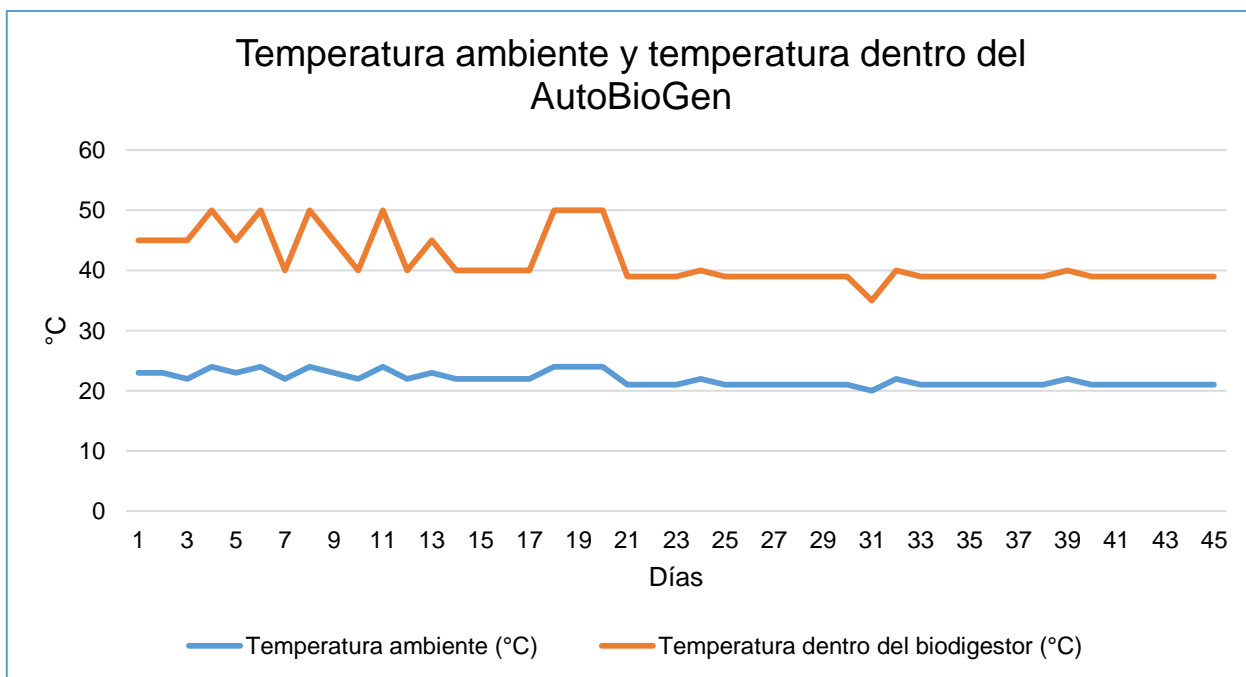
14	3:00 pm	22	40	37	21	39
15	3:00 pm	22	40	38	21	39
16	3:00 pm	22	40	39	22	40
17	3:00 pm	22	40	40	21	39
18	3:00 pm	23	45	41	21	39
19	3:00 pm	24	50	42	21	39
20	3:00 pm	23	45	43	21	39
21	3:00 pm	21	39	44	21	39
22	3:00 pm	21	39	45	21	39
23	3:00 pm	22	40			
21	3:00 pm	21	39			
media				21.91111111	41.64444444	
varianza				1.280987654	17.20691358	
desviación				+/- 1.131807251	+/- 4.148121693	



**Figura A.12.** Temperatura ambiente. (Elaboración propia)



**Figura A.13.** Temperatura dentro del AutoBioGen. (Elaboración propia)



**Figura A.14.** Comparación de la temperatura ambiente y de la temperatura dentro del AutoBioGen. (Elaboración propia)

#### A.4 Características técnicas del medidor de pH

Medidor De pH marca Digital Phmetro. Portátil Con Pantalla LCD

- Rango de prueba de medición: pH de 0.0 a 14.0 pH.
- Rango de temperatura: 0 a 50°C.
- Precisión: +/- 0.1.
- Desviación típica de EMC: pH +/- 0.1.
- Tipo de batería: 4x AG13/ LR44.
- Vida de batería: 150 horas de uso.
- Calibración: Manual (pre-calibrado).
- Medio ambiente: 0 a 50 ° C (32 a 122 ° F; HR 100%.



**Figura A.15.** Medidor de pH. (Elaboración propia)

## A.5 Características técnicas del medidor de biogás marca Binder

Medidor de biogás portátil Binder GA-m4-mix

- Biogás: 0.0004 a 25 m<sup>3</sup>/min
- CO<sub>2</sub>: 0-100%
- CH<sub>4</sub>: 0-100%
- H<sub>2</sub>S: 1-10000 ppm
- H<sub>2</sub>O: 0-25%
- Temperatura ambiente: 5 a 40 ° C
- Dimensiones y Peso: 200x100x60 mm / 750 g
- Batería: 2 a 4 horas
- Transferencia de datos: vía USB



**Figura A.16.** Medidor de biogás portátil Binder GA-m4-mix. *(Elaboración propia)*

### A.5.1 Experimento de un Minibiodigestor

Se realizó un pequeño experimento con 1.61 kg de excremento que generaron las cuatro personas en un día, con el fin de saber si se producía biogás, y determinar el promedio diario de biogás generado. Como se muestra en la Figura A.17 se unieron 3 botellas de plástico de diferentes capacidades.

1. En la botella con una capacidad de 10 litros se depositó el excremento humano y el agua.
2. En la botella con capacidad de 1 litro, se introdujo aserrín con el fin de filtrar el biogás (quedan atrapadas en el aserrín las moléculas de  $H_2O$  y  $H_2S$  producidos en la fermentación).
3. La botella con una capacidad de 20 litros se almacena el  $CH_4$ , resultado de la fermentación del excremento.



**Figura A.17.** Contenedor de excremento y agua, filtro y contenedor de  $CH_4$  y  $CO_2$ .  
(Elaboración propia)



La cantidad de biogás generado varía de acuerdo a la temperatura ambiental. La cantidad de CH<sub>4</sub> obtenido se consiguió utilizando el medidor de biogás portátil marca *Binder* modelo *GA-m4-mix*. De los datos obtenidos, se concluye que 1.61 kg de excremento generan 0.020 m<sup>3</sup> o 20 litros de biogás en 45 días (del 21 de septiembre al 03 de noviembre de 2015 (Tabla A.11).

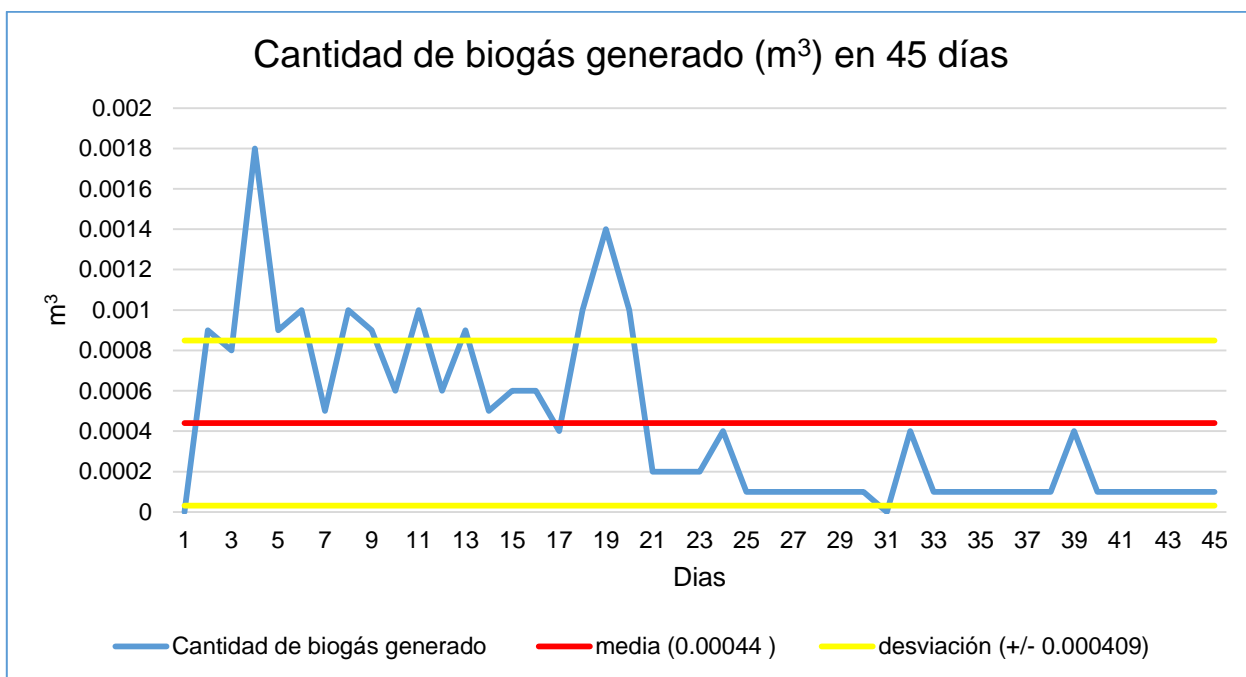
**Tabla A.11.** *Biogás producido durante 45 días por los cuatro sujetos. (Elaboración propia)*

Días	Cantidad de biogás generado (m <sup>3</sup> )	Días	Cantidad de biogás generado (m <sup>3</sup> )	Días	Cantidad de biogás generado (m <sup>3</sup> )
1	0	16	0.0006	31	0
2	0.0009	17	0.0004	32	0.0004
3	0.0008	18	0.001	33	0.0001
4	0.0018	19	0.0014	34	0.0001
5	0.0009	20	0.001	35	0.0001
6	0.001	21	0.0002	36	0.0001
7	0.0005	22	0.0002	37	0.0001
8	0.001	23	0.0002	38	0.0001
9	0.0009	24	0.0004	39	0.0004
10	0.0006	25	0.0001	40	0.0001
11	0.001	26	0.0001	41	0.0001
12	0.0006	27	0.0001	42	0.0001
13	0.0009	28	0.0001	43	0.0001
14	0.0005	29	0.0001	44	0.0001
15	0.0006	30	0.0001	45	0.0001
Total					0.020
media					0.00044
varianza					0.0000001679
desviación					+/- 0.000409

La metodología que se utilizó para medir el biogás generado por el excremento de los cuatro usuarios, es la siguiente:

- Se midió el biogás generado diariamente a las 3:00 pm, dado que es la hora del día en que la temperatura ambiente es más elevada.
- El biogás medido tiene un error de +/-0.0001 m<sup>3</sup> de acuerdo a las características del medidor de biogás.

Como se observa en la Figura A.18 el biogás generado aumenta pasando en los primeros 20 días y disminuyó en los últimos días debido a que las bacterias fermentadoras no tienen más materia prima que degradar.



**Figura A.18.** Biogás producido durante 45 días por los cuatro sujetos. (Elaboración propia)

## A.6 Producción de biogás en el AutoBioGen

Se midió con el medidor de biogás portátil Binder GA-m4-mix, la producción de biogás, de 75 kg de excremento proveniente de los cuatro sujetos durante 45 días (del 21 de septiembre al 03 de noviembre de 2015) (Tabla A.12). Dado que en el medidor de biogás marca Binder nos da también el porcentaje de CH<sub>4</sub> contenido en el biogás, se obtuvo que el 70% del biogás lo componía el metano.

**Tabla A.12.** Biogás producido durante 45 días por los cuatro sujetos. (Elaboración propia)

días	Hora	Cantidad de biogás generado (m³)	días	Hora	Cantidad de biogás generado (m³)
1	3:00 pm	0.30	24	3:00 pm	1.09
2	3:00 pm	0.35	25	3:00 pm	1.10
3	3:00 pm	0.38	26	3:00 pm	1.12
4	3:00 pm	0.39	27	3:00 pm	1.14
5	3:00 pm	0.41	28	3:00 pm	1.16
6	3:00 pm	0.42	29	3:00 pm	1.20
7	3:00 pm	0.43	30	3:00 pm	1.26
8	3:00 pm	0.44	31	3:00 pm	1.28
9	3:00 pm	0.45	32	3:00 pm	1.30
10	3:00 pm	0.46	33	3:00 pm	1.32

11	3:00 pm	0.50	34	3:00 pm	1.34
12	3:00 pm	0.60	35	3:00 pm	1.36
13	3:00 pm	0.80	36	3:00 pm	1.38
14	3:00 pm	0.90	37	3:00 pm	1.39
15	3:00 pm	1	38	3:00 pm	1.40
16	3:00 pm	1.02	39	3:00 pm	1.42
17	3:00 pm	1.04	40	3:00 pm	1.44
18	3:00 pm	1.05	41	3:00 pm	1.46
19	3:00 pm	1.06	42	3:00 pm	1.48
20	3:00 pm	1.07	43	3:00 pm	1.49
21	3:00 pm	1.072	44	3:00 pm	1.50
22	3:00 pm	1.075	45	3:00 pm	1.51
23	3:00 pm	1.08			
media			1.009711111		
varianza			0.150935289		
desviación			+/- 0.388503911		

## A.7 Características técnicas del Multímetro

Multímetro marca compacto económico modelo MUL-005

- Resistencia: 200 Ohms a 20 MOhms.
- Voltaje cc (corriente continua): 200 mV a 1,000V.
- Voltaje ca (corriente alterna): 200 a 750 V.
- Corriente cc: 2 mA a 10 A.
- Función de continuidad audible.
- Pantalla de LCD.
- Alimentación: 9 Vcc.
- Dimensiones: 7 cm de frente x 12.5 cm de largo x 2.5 cm de ancho.

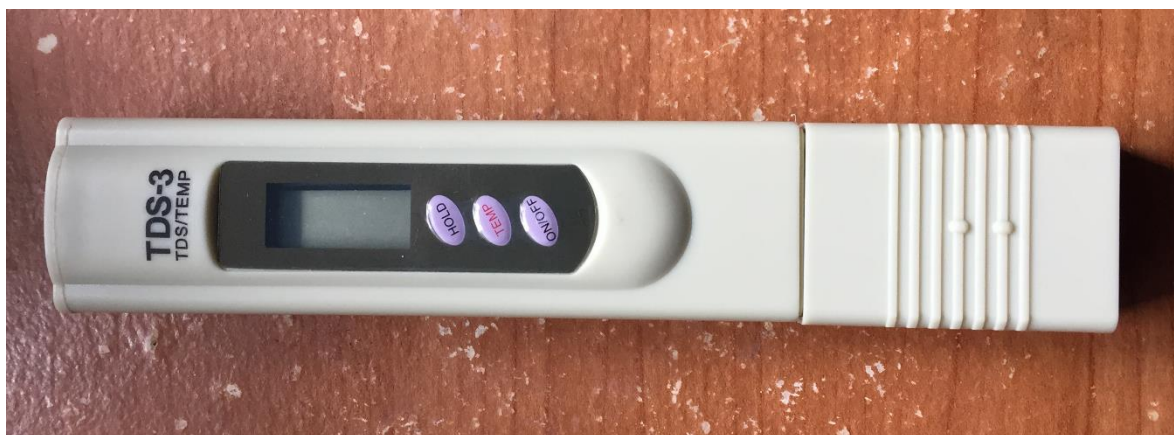


**Figura A.19.** *Multímetro marca compacto económico modelo MUL-005 (Elaboración propia)*

## **A.8 Características técnicas del medidor de sólidos y pureza del agua**

Medidor marca Tds Pureza y calidad de agua, termómetro sólido ppm

- Temperatura de uso: 0 a 50 °C.
- Escala de medida: 1 FC.
- Resolución: 1 FC.
- Precisión: +/- 296 FC.
- Dimensiones: 14.2 x 2.5 x 1.5 cm.
- Auto apagado: 10 min.



**Figura A.20.** Medidor de sólidos y conductividad de agua. (Elaboración propia)

## A.9 Programa del Arduino Uno para la medición de alarma de biogás

En el siguiente cuadro se muestra el programa para la alarma de CH<sub>4</sub>.

```

/* Alarma de CH4

Conecta el ARDUINO con el Sensor de Gas MQ4 y cuando el nivel de concentración de CH4
Supera un límite se activa una alarma sonora, el nivel de CH4 se puede visualizar por
el Monitor Serial.
Conexiones:
ARDUINO    MQ4    Zumbador

5V          Vcc
GND         GND
A0          A0

Pin 13      +
GND         -

*/

int valor_limite= 50;           // Fije el valor límite en el que se activa la alarma
                                // Fije el valor después de visualizar el nivel con el Monitor Serial

void setup() {
  Serial.begin(9600);           // Activa el puerto Serial a 9600 Baudios
  pinMode(13,OUTPUT);           // Configura el Pin 13 como salida para el Zumbador
}

void loop() {
  Serial.println(analogRead(A0)); // Envía al Serial el valor leído del Sensor MQ4

  if(analogRead(A0) > valor_limite){ // Si la medida de CH4 es mayor de valor limite
    digitalWrite(13, HIGH);         // Enciende el Zumbador conectado al Pin 13
  }
  else{                             // Si es menor del valor límite apaga el Zumbador
    digitalWrite(13, LOW);
  }
  delay (300);                      // Espera 300ms para realizar la próxima medida
}

```

## A.10 Planos visuales del AutoBioGen diseñado

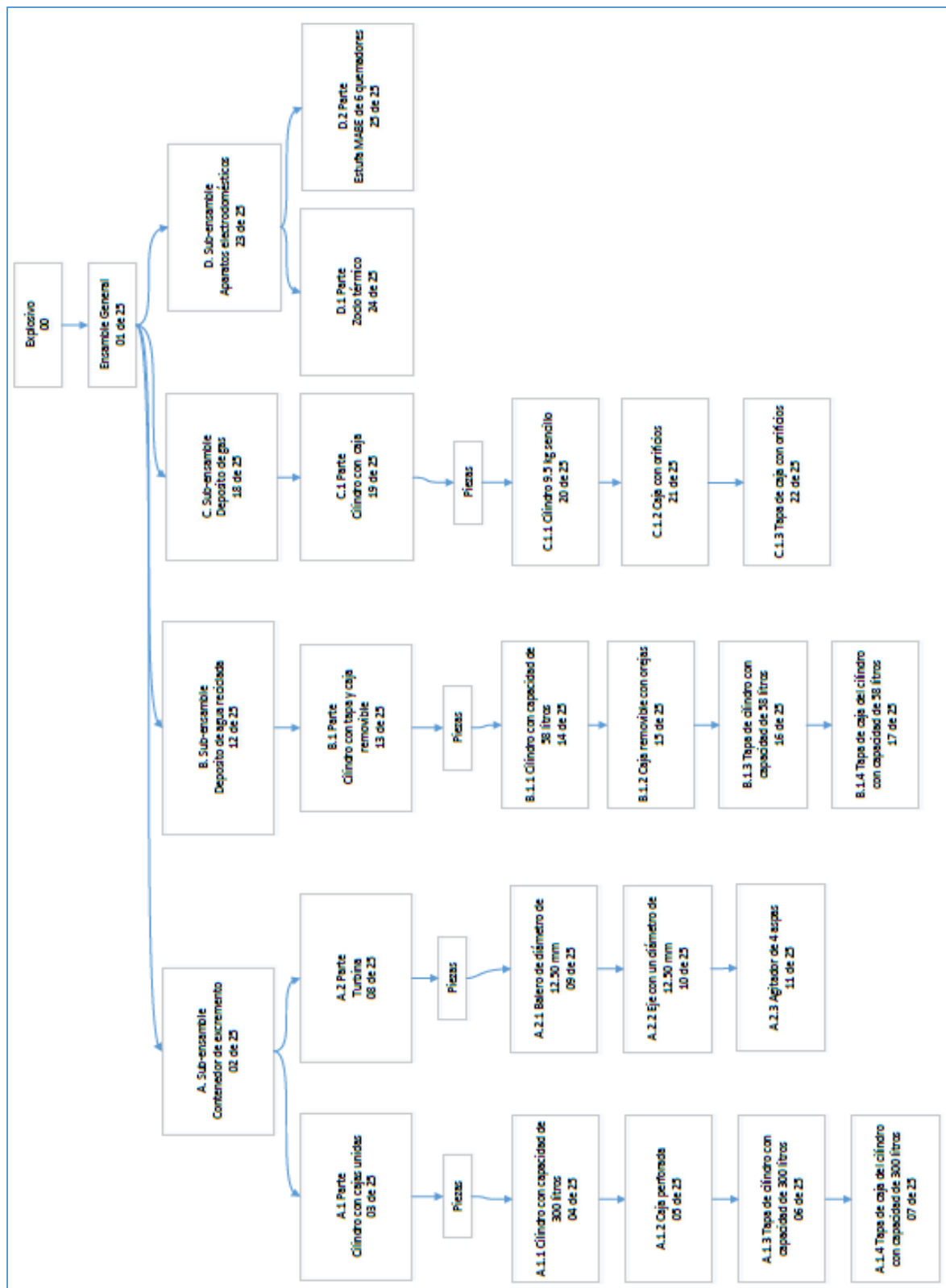
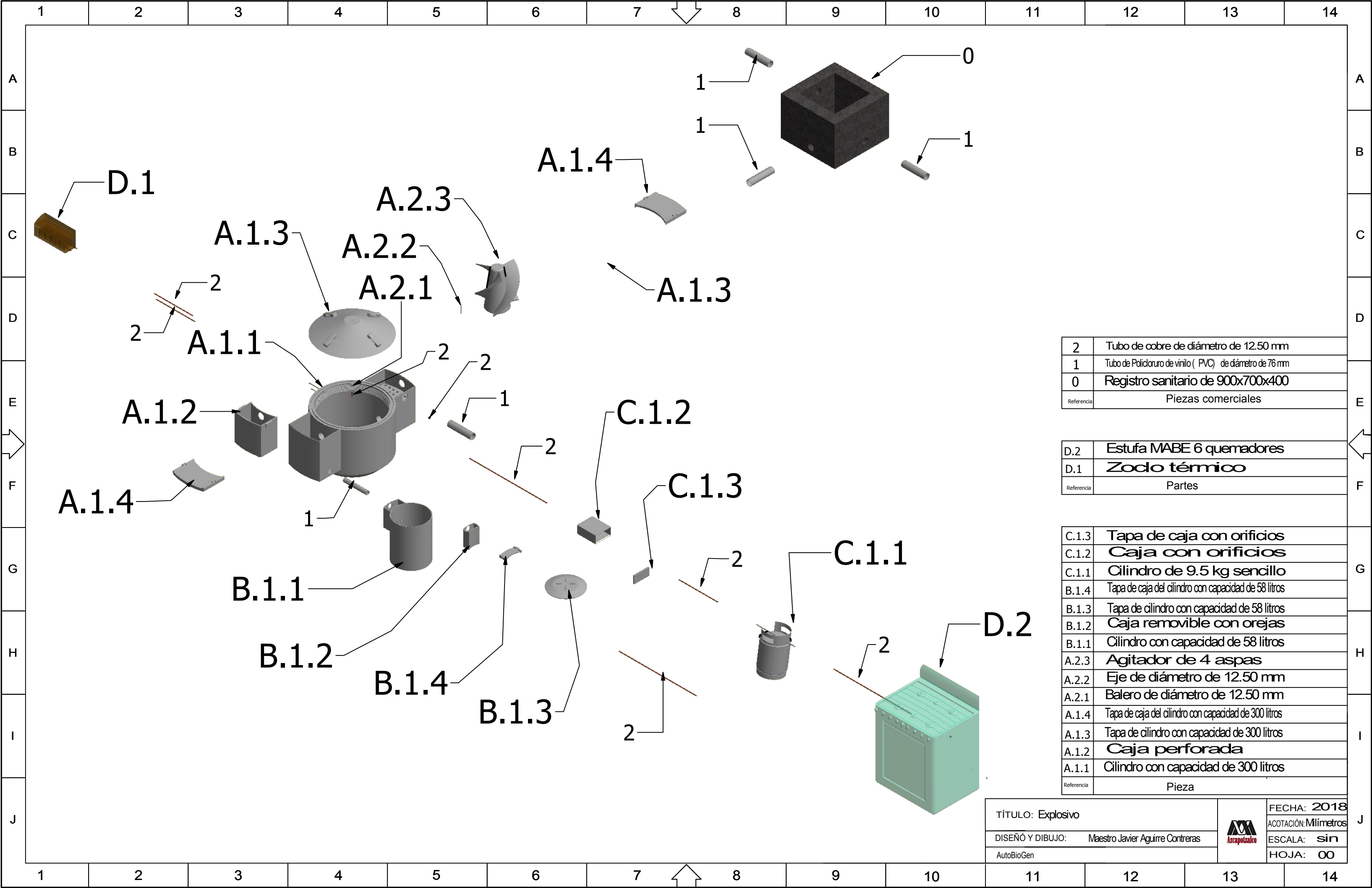


Figura A.21. Diagrama de AutoBioGen diseñado. (Elaboración propia)



2	Tubo de cobre de diámetro de 12.50 mm
1	Tubo de Policloruro de vinilo ( PVC) de diámetro de 76 mm
0	Registro sanitario de 900x700x400
Referencia	Piezas comerciales

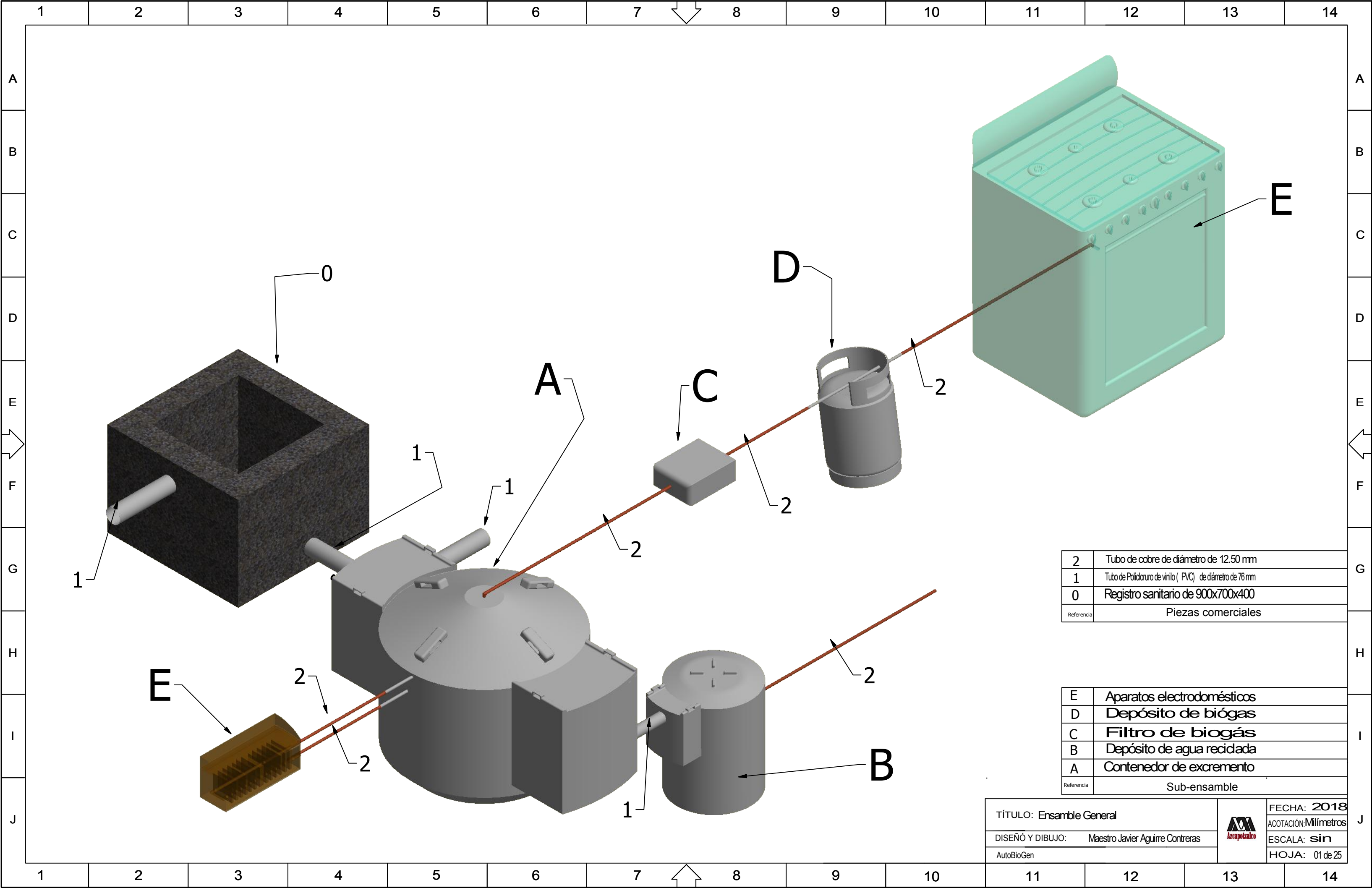
D.2	Estufa MABE 6 quemadores
D.1	Zodo térmico
Referencia	Partes

C.1.3	Tapa de caja con orificios
C.1.2	Caja con orificios
C.1.1	Cilindro de 9.5 kg sencillo
B.1.4	Tapa de caja del cilindro con capacidad de 58 litros
B.1.3	Tapa de cilindro con capacidad de 58 litros
B.1.2	Caja removible con orejas
B.1.1	Cilindro con capacidad de 58 litros
A.2.3	Agitador de 4 aspas
A.2.2	Eje de diámetro de 12.50 mm
A.2.1	Balero de diámetro de 12.50 mm
A.1.4	Tapa de caja del cilindro con capacidad de 300 litros
A.1.3	Tapa de cilindro con capacidad de 300 litros
A.1.2	Caja perforada
A.1.1	Cilindro con capacidad de 300 litros
Referencia	Pieza

TÍTULO: Explosivo	FECHA: 2018
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras	ACOTACIÓN: Milímetros
AutoBioGen	ESCALA: sin
	HOJA: 00





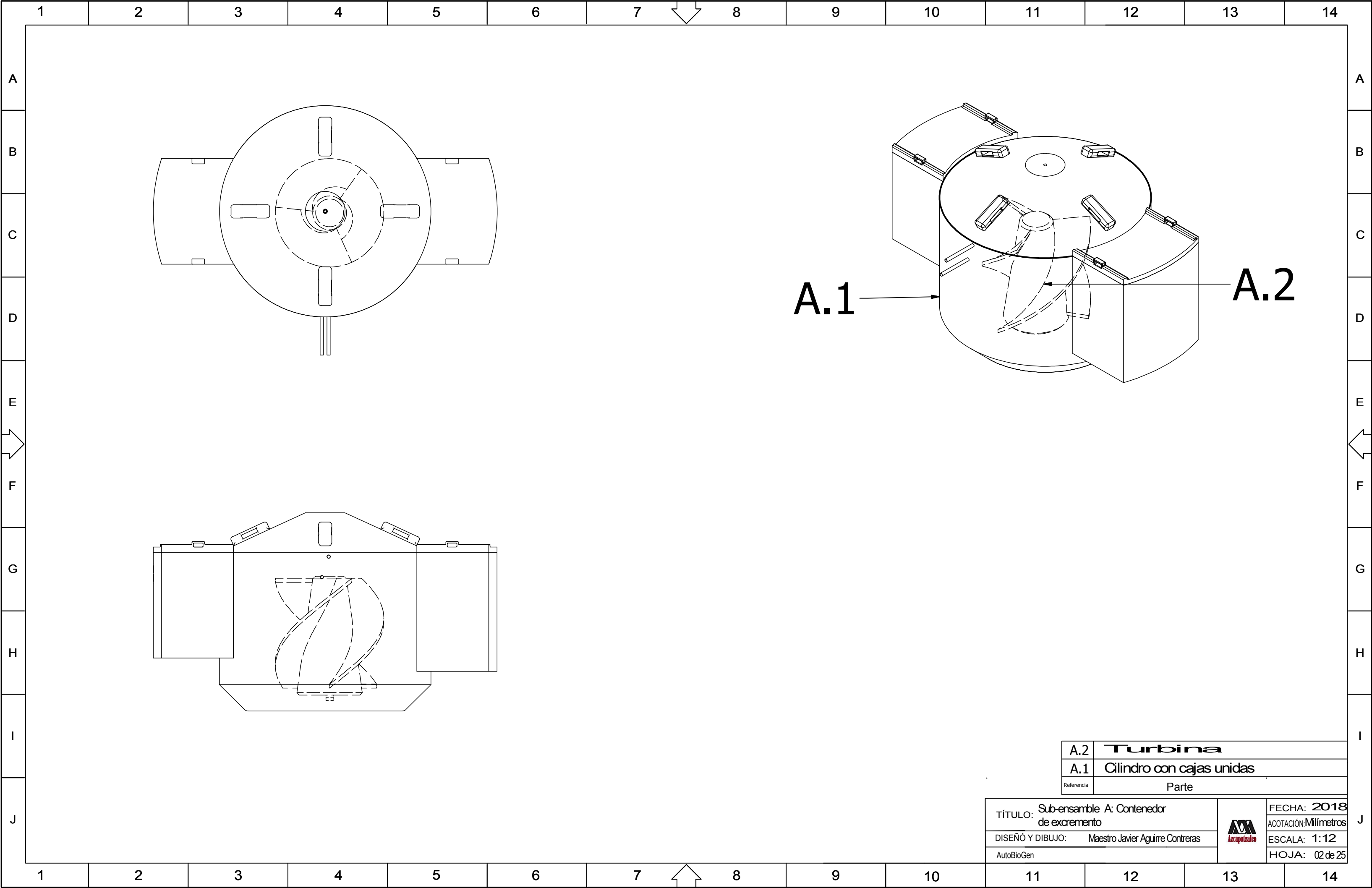


2	Tubo de cobre de diámetro de 12.50 mm
1	Tubo de Policloruro de vinilo ( PVC) de diámetro de 76 mm
0	Registro sanitario de 900x700x400
Referencia	Piezas comerciales

E	Aparatos electrodomésticos
D	Depósito de biogás
C	Filtro de biogás
B	Depósito de agua reciclada
A	Contenedor de excremento
Referencia	Sub-ensamble

TÍTULO: Ensamble General	FECHA: 2018
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras	ACOTACIÓN: Milímetros
AutoBioGen	ESCALA: sin
	HOJA: 01 de 25

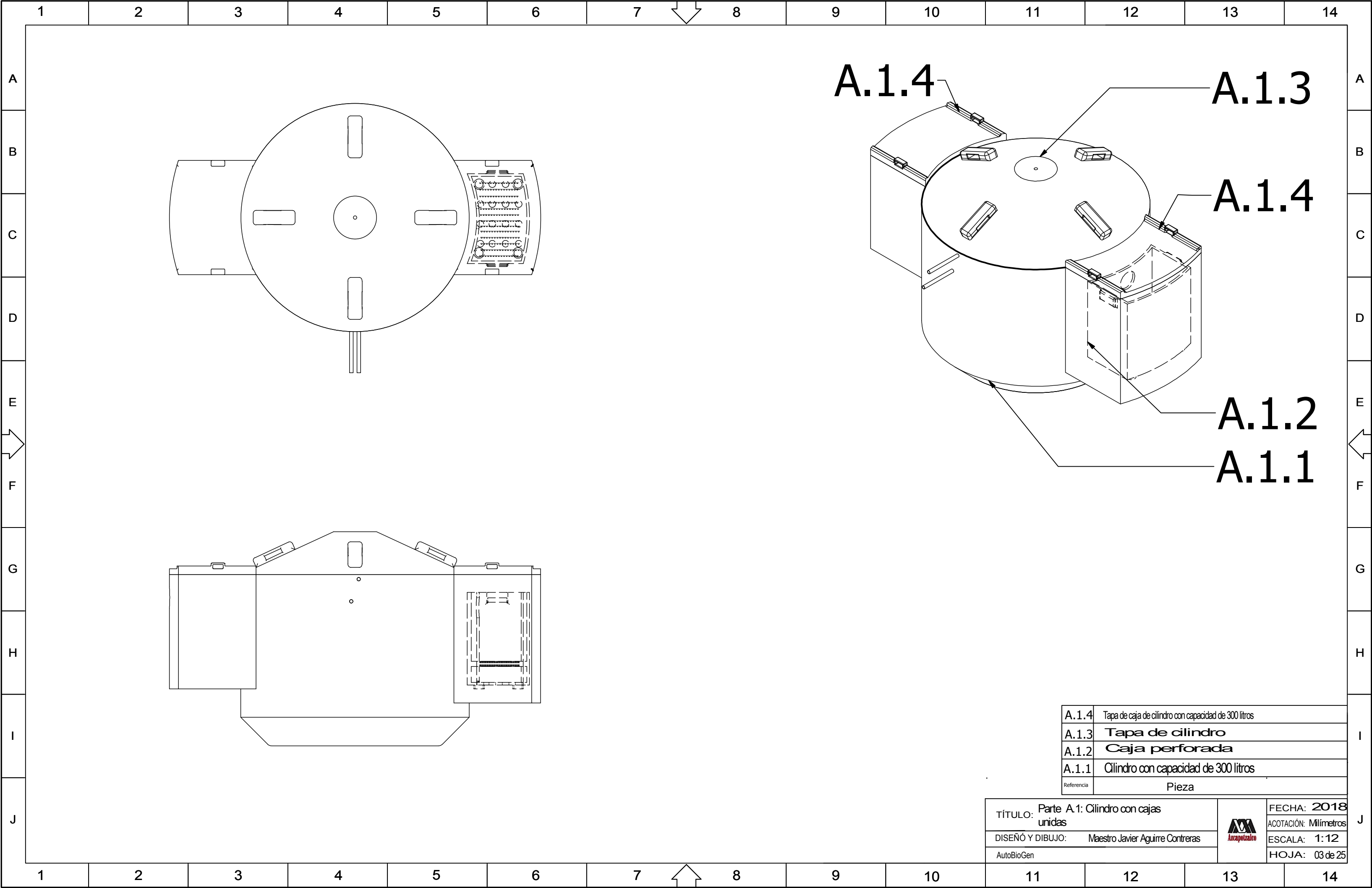




A.2	Turbina
A.1	Cilindro con cajas unidas
Referencia	Parte

TÍTULO: Sub-ensamble A: Contenedor de excremento	FECHA: 2018
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras	ACOTACIÓN: Milímetros
AutoBioGen	ESCALA: 1:12
	HOJA: 02 de 25

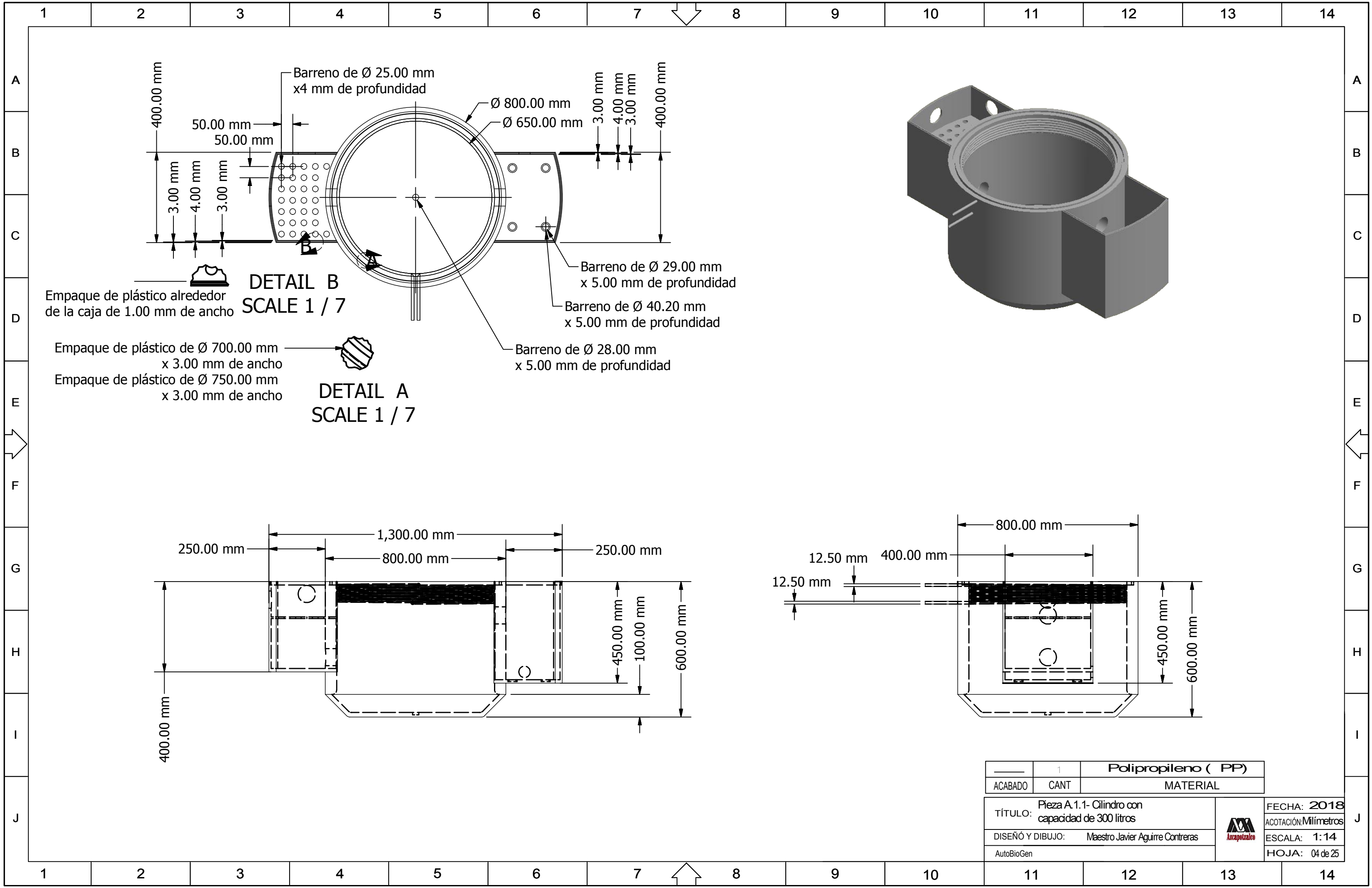


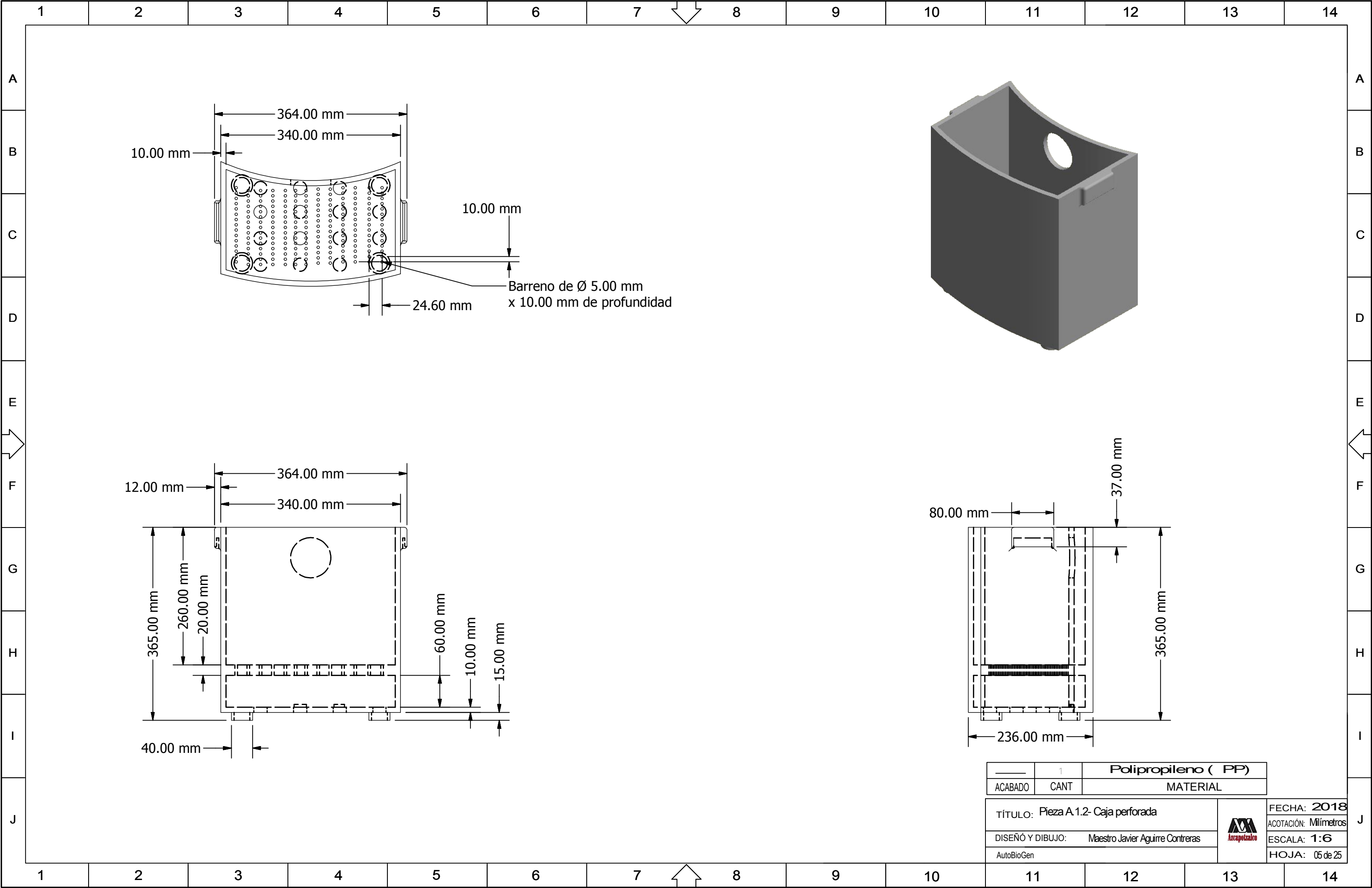


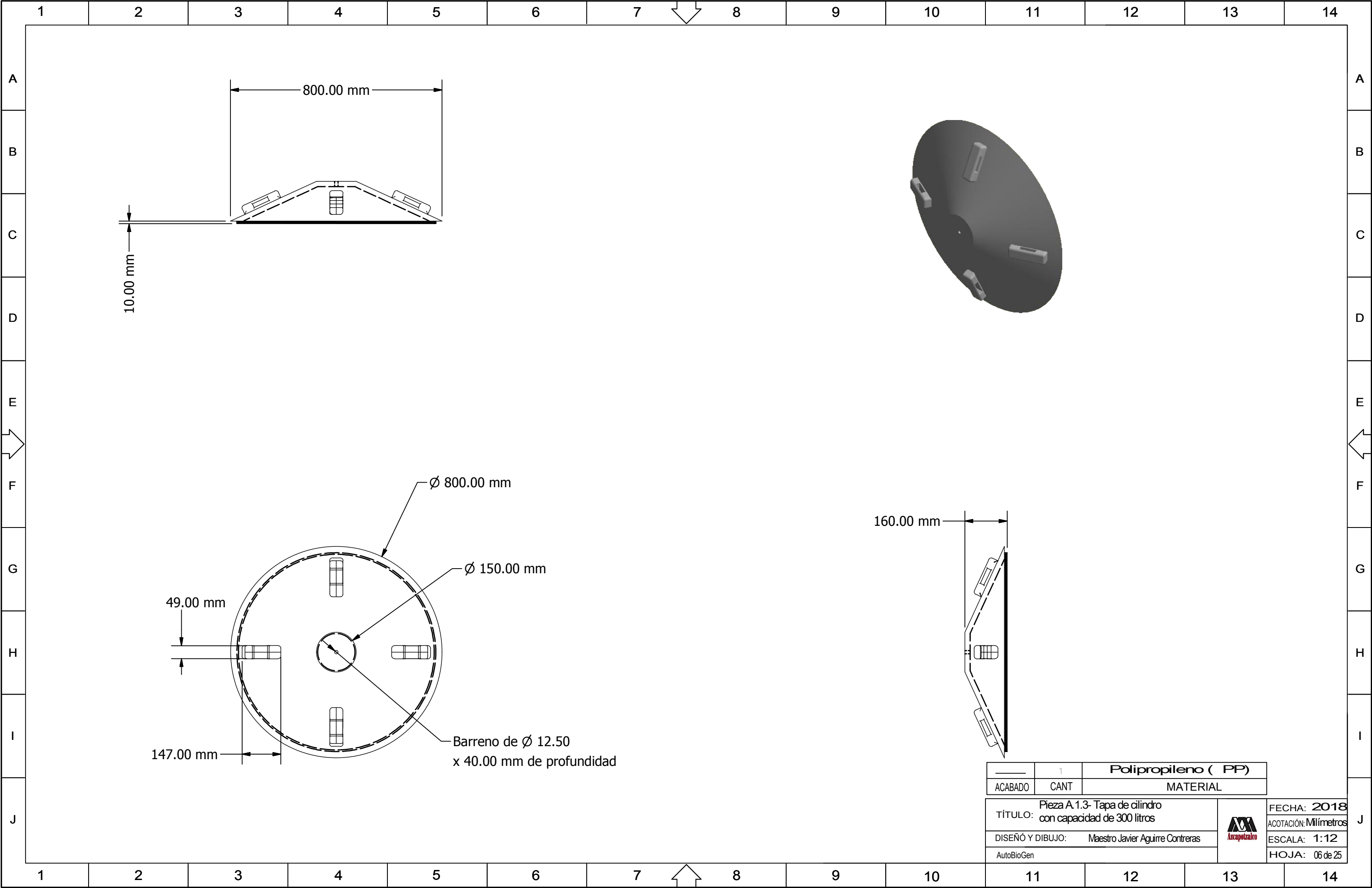
A.1.4	Tapa de caja de cilindro con capacidad de 300 litros
A.1.3	Tapa de cilindro
A.1.2	Caja perforada
A.1.1	Cilindro con capacidad de 300 litros
Referencia	Pieza

TÍTULO: Parte A.1: Cilindro con cajas unidas	FECHA: 2018
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras	ACOTACIÓN: Milímetros
AutoBioGen	ESCALA: 1:12
	HOJA: 03 de 25







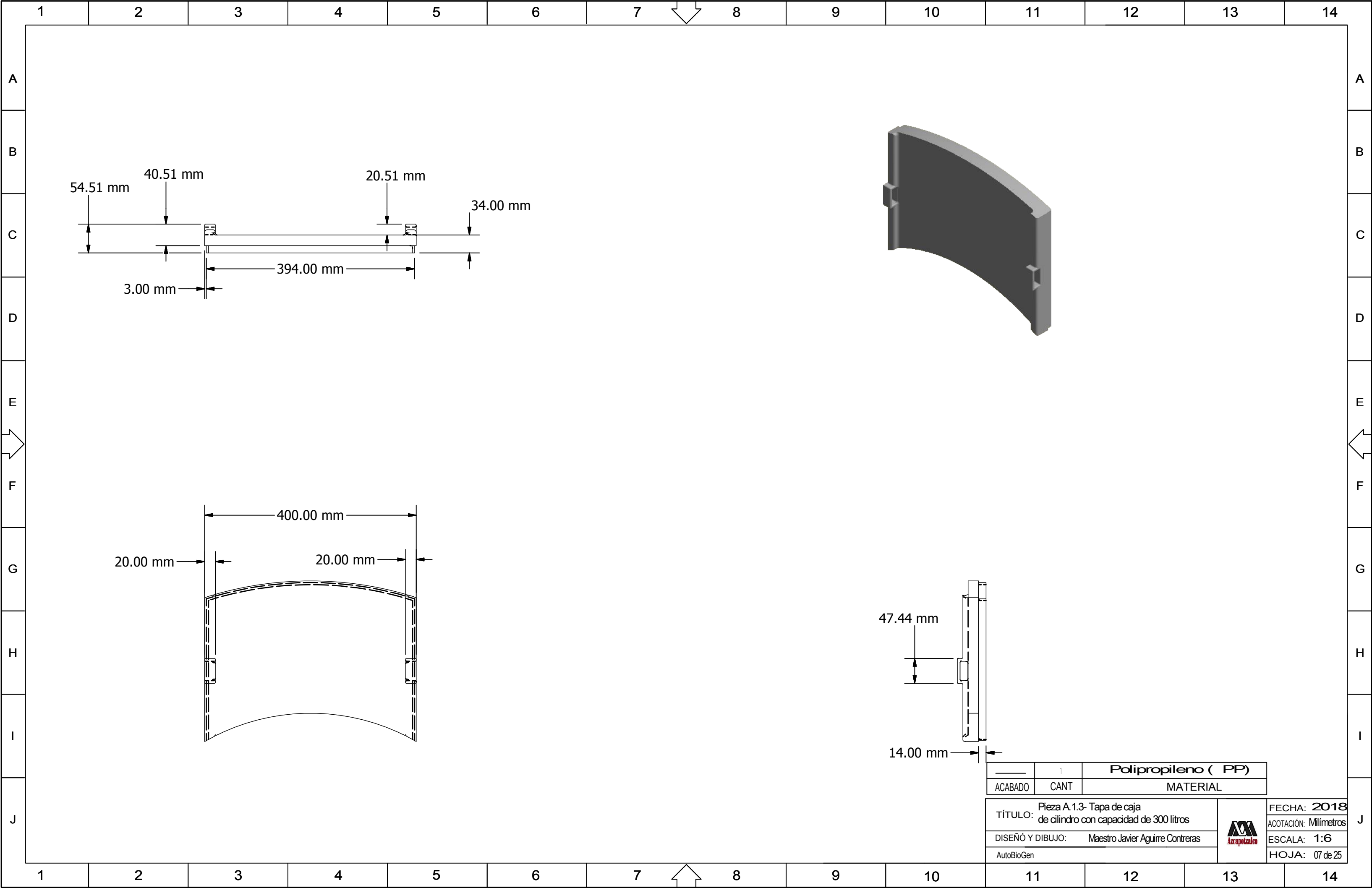


	1	Polipropileno ( PP )
ACABADO	CANT	MATERIAL

TÍTULO:	Pieza A.1.3- Tapa de cilindro con capacidad de 300 litros
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
AutoBioGen	



FECHA:	2018
ACOTACIÓN:	Milímetros
ESCALA:	1:12
HOJA:	06 de 25

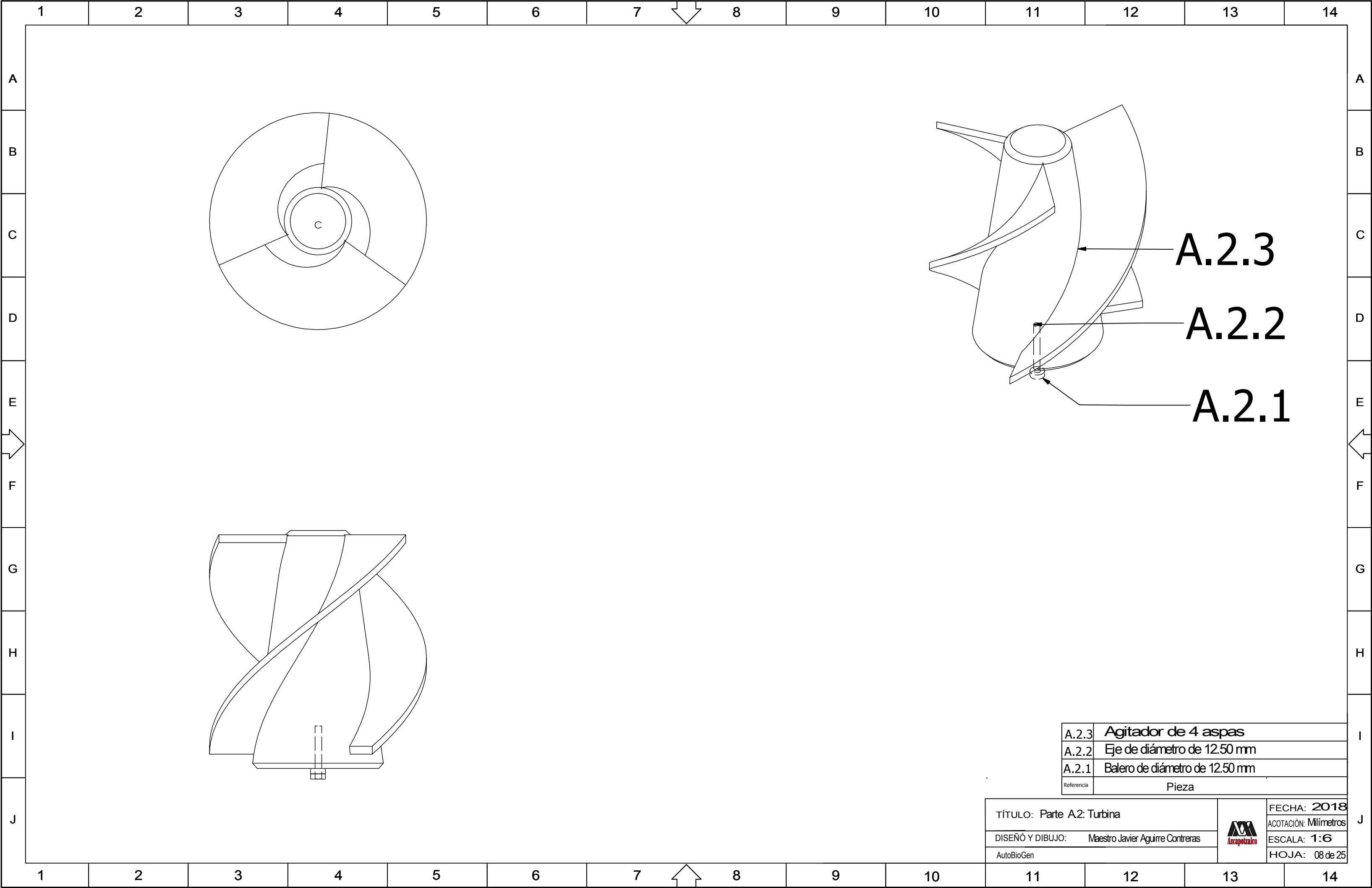


	1	Polipropileno ( PP )
ACABADO	CANT	MATERIAL

TÍTULO:	Pieza A.1.3- Tapa de caja de cilindro con capacidad de 300 litros
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
	AutoBioGen



FECHA:	2018
ACOTACIÓN:	Milímetros
ESCALA:	1:6
HOJA:	07 de 25

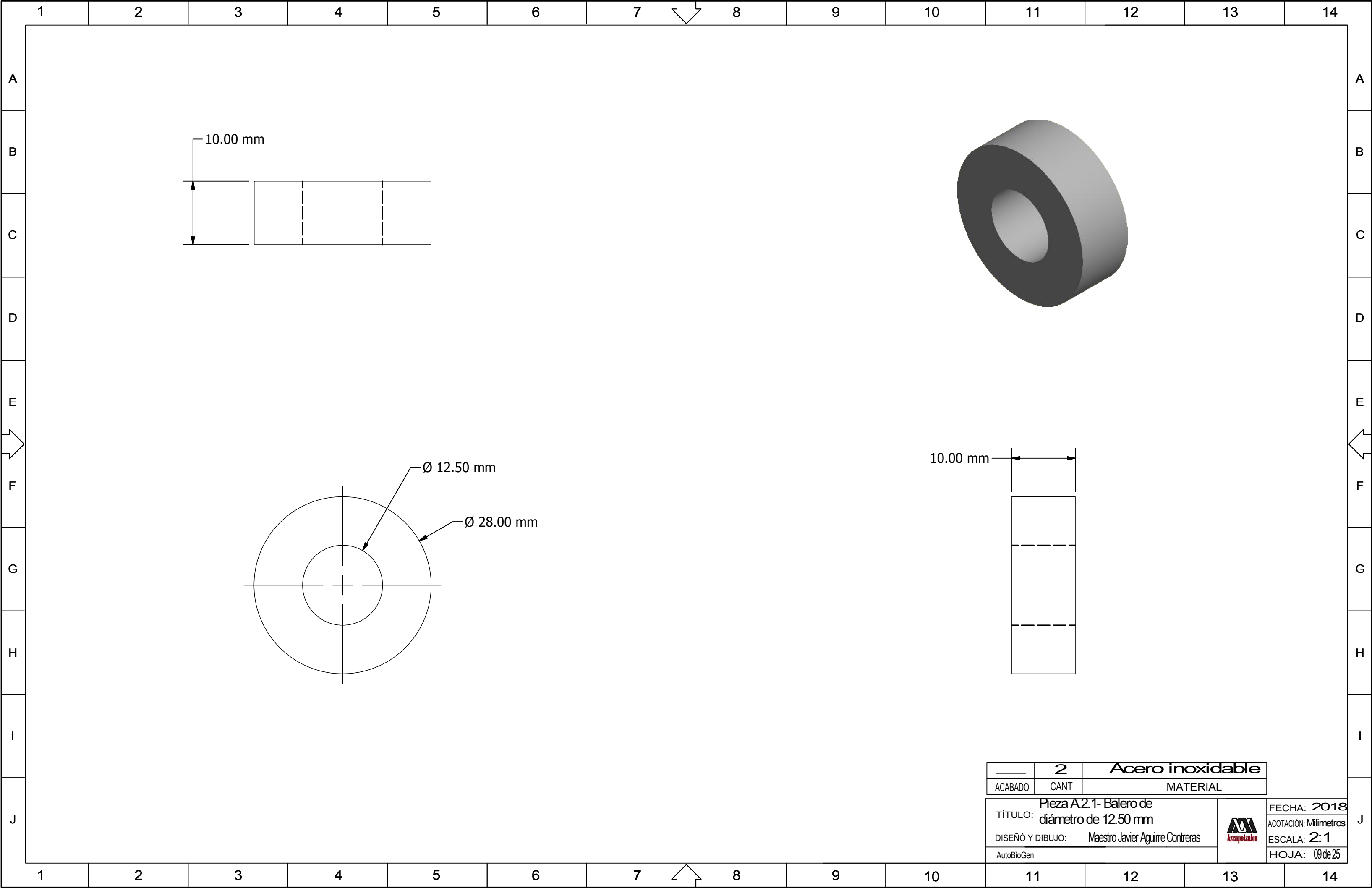


A.2.3	Agitador de 4 aspas
A.2.2	Eje de diámetro de 12.50 mm
A.2.1	Balero de diámetro de 12.50 mm
Referencia	Pieza

TÍTULO: Parte A2: Turbina	FECHA: 2018
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras	ACOTACIÓN: Milímetros
AutoBioGen	ESCALA: 1:6
	HOJA: 08 de 25





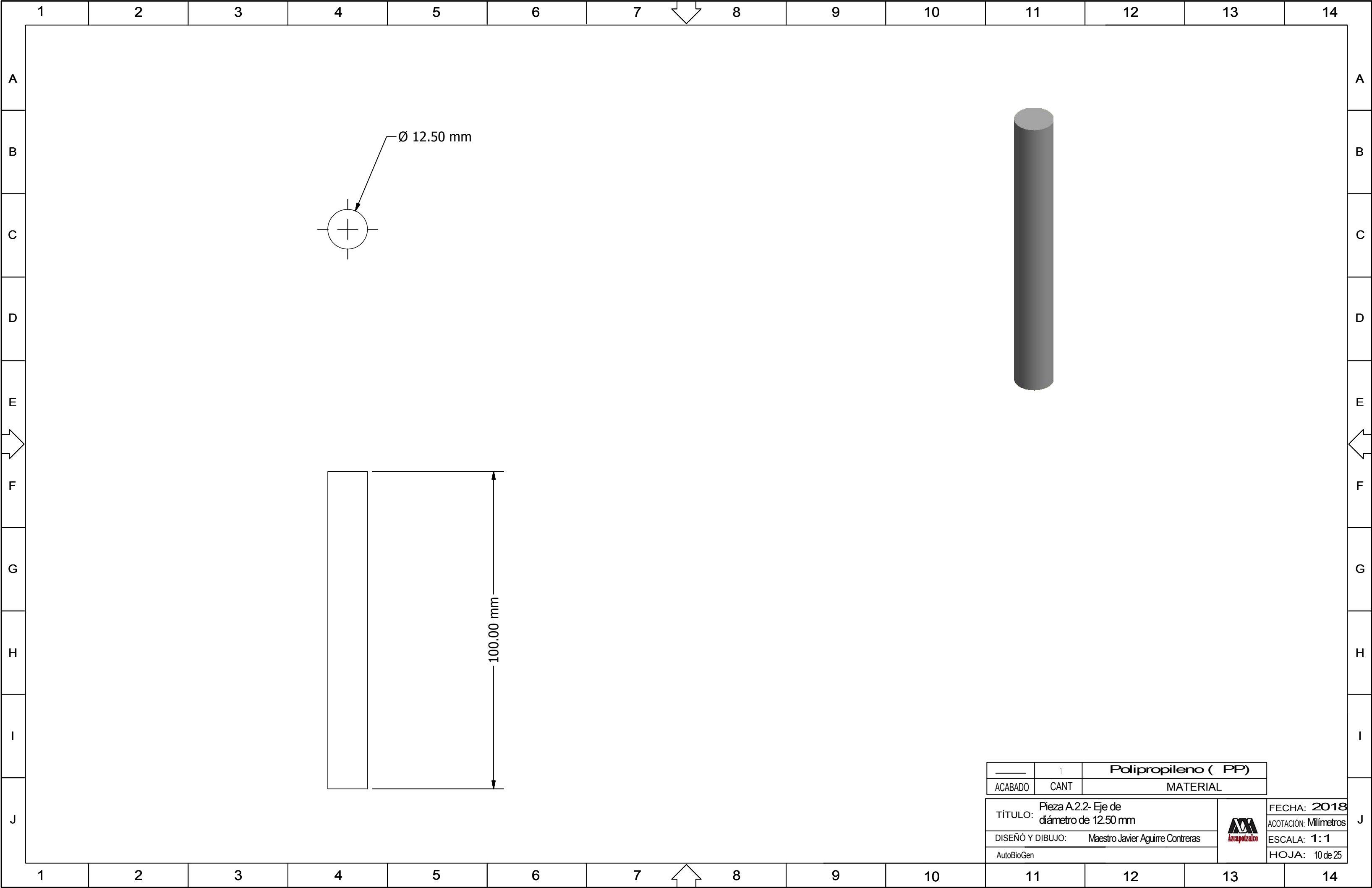


	2	Acero inoxidable
ACABADO	CANT	MATERIAL

TÍTULO:	Pieza A.2.1- Balero de diámetro de 12.50 mm
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
AutoBioGen	

FECHA:	2018
ACOTACIÓN:	Milímetros
ESCALA:	2:1
HOJA:	09 de 25

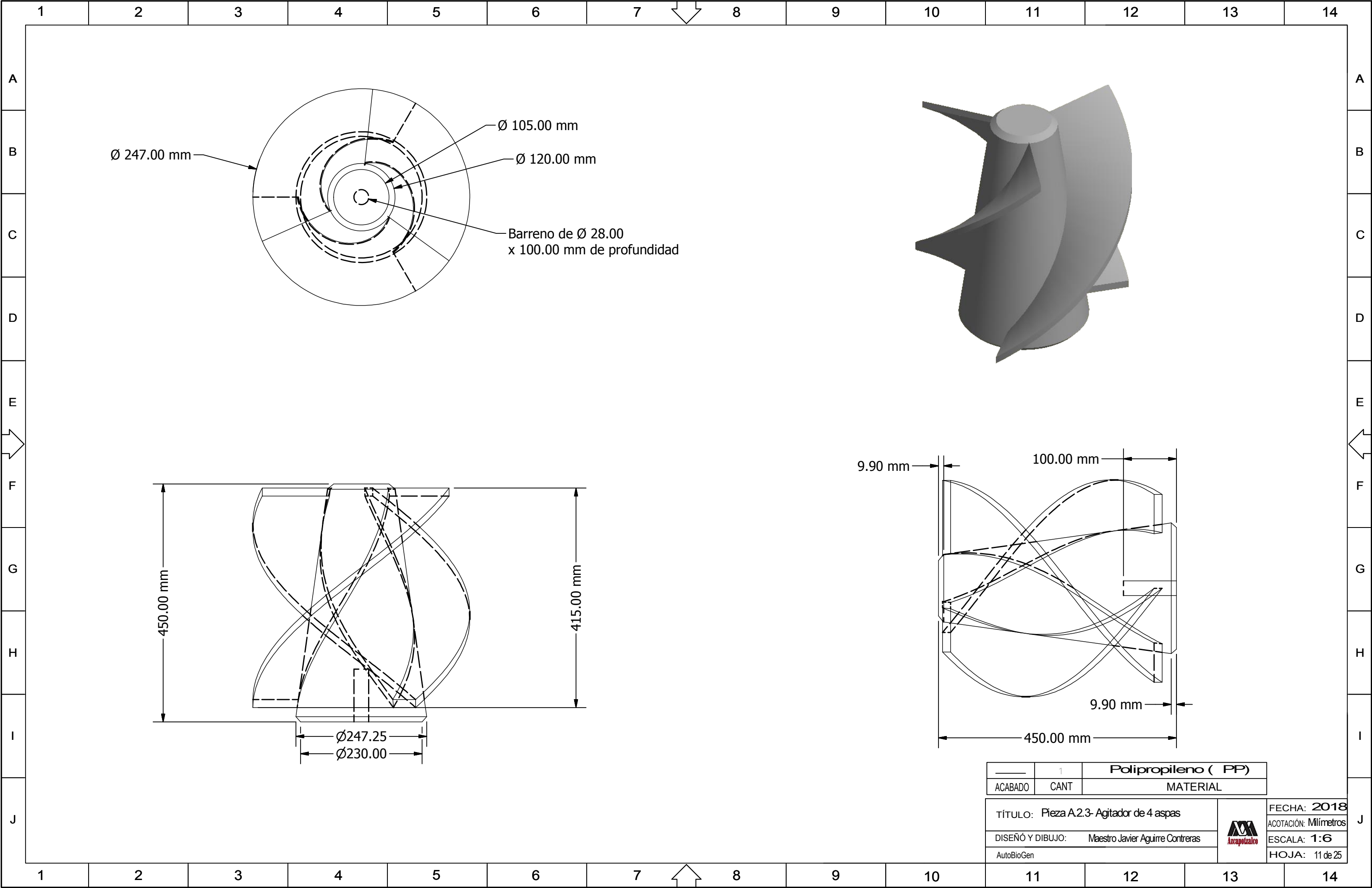


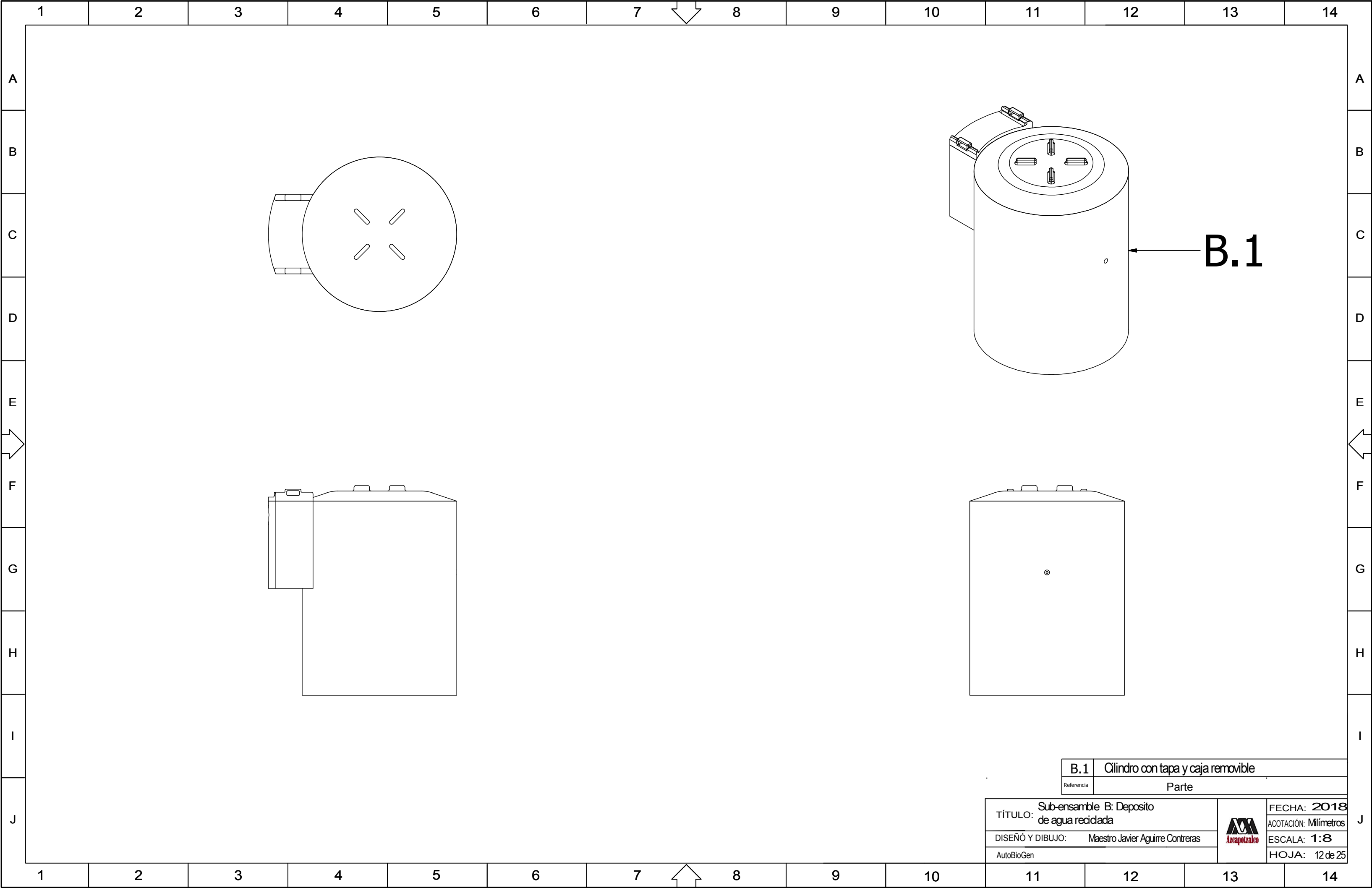


	1	Polipropileno ( PP)
ACABADO	CANT	MATERIAL

TÍTULO:	Pieza A.2.2- Eje de diámetro de 12.50 mm
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
AutoBioGen	

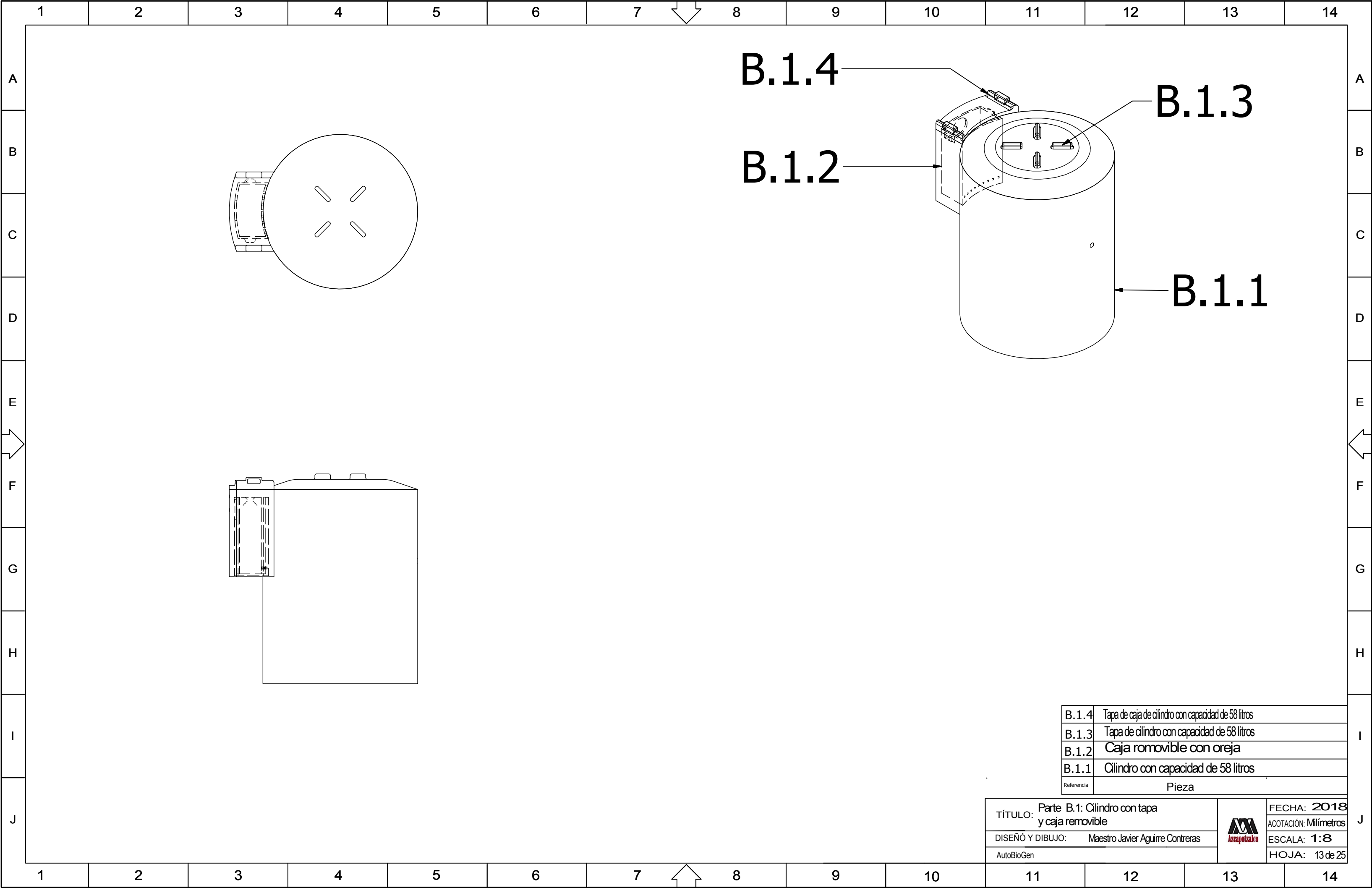
	FECHA:	2018
	ACOTACIÓN:	Milímetros
	ESCALA:	1:1
	HOJA:	10 de 25





B.1	Olindro con tapa y caja removible
Referencia	Parte

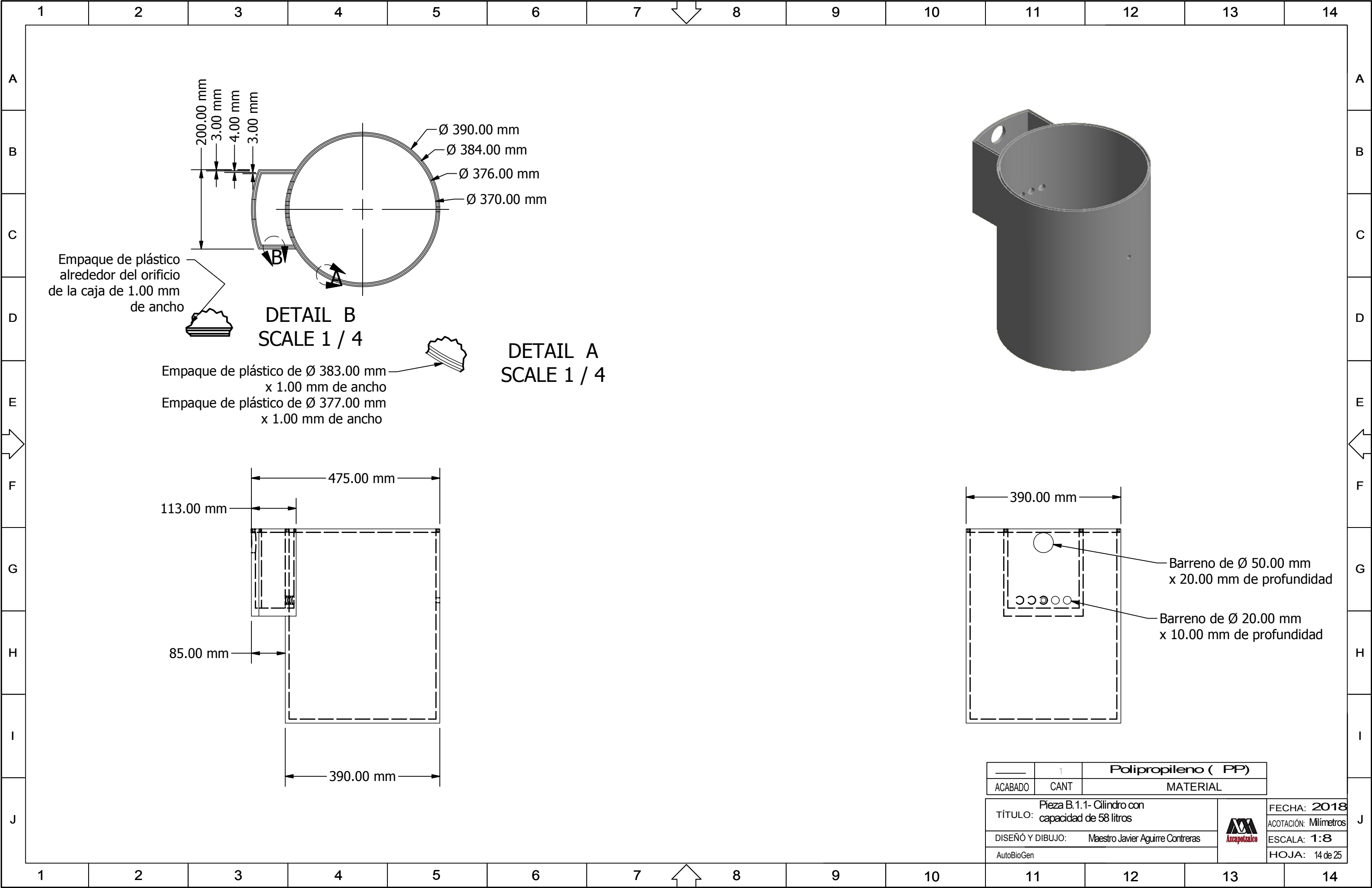
TÍTULO:	Sub-ensamble B: Deposito de agua reciclada		FECHA: 2018
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras		ACOTACIÓN: Milímetros
AutoBioGen			ESCALA: 1:8
			HOJA: 12 de 25



B.1.4	Tapa de caja de cilindro con capacidad de 58 litros
B.1.3	Tapa de cilindro con capacidad de 58 litros
B.1.2	Caja romovable con oreja
B.1.1	Cilindro con capacidad de 58 litros
Referencia	Pieza

TÍTULO:	Parte B.1: Cilindro con tapa y caja removable
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
AutoBioGen	

FECHA:	2018
ACOTACIÓN:	Milímetros
ESCALA:	1:8
HOJA:	13 de 25

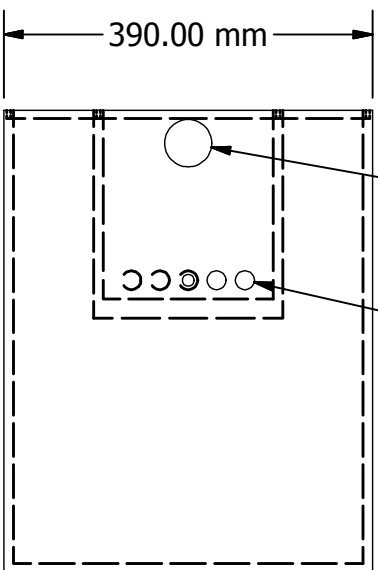
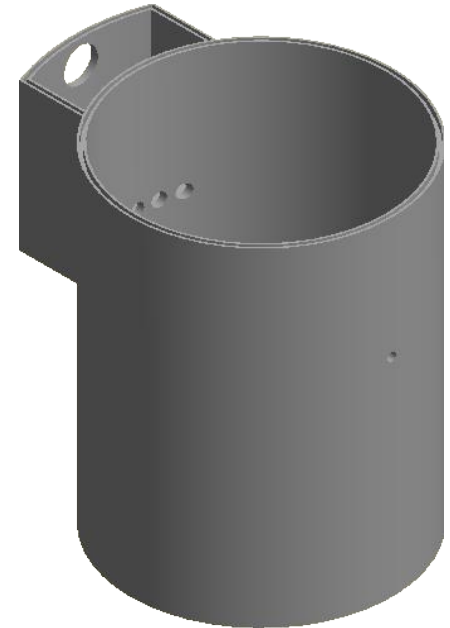


Empaque de plástico  
alrededor del orificio  
de la caja de 1.00 mm  
de ancho

DETAIL B  
SCALE 1 / 4

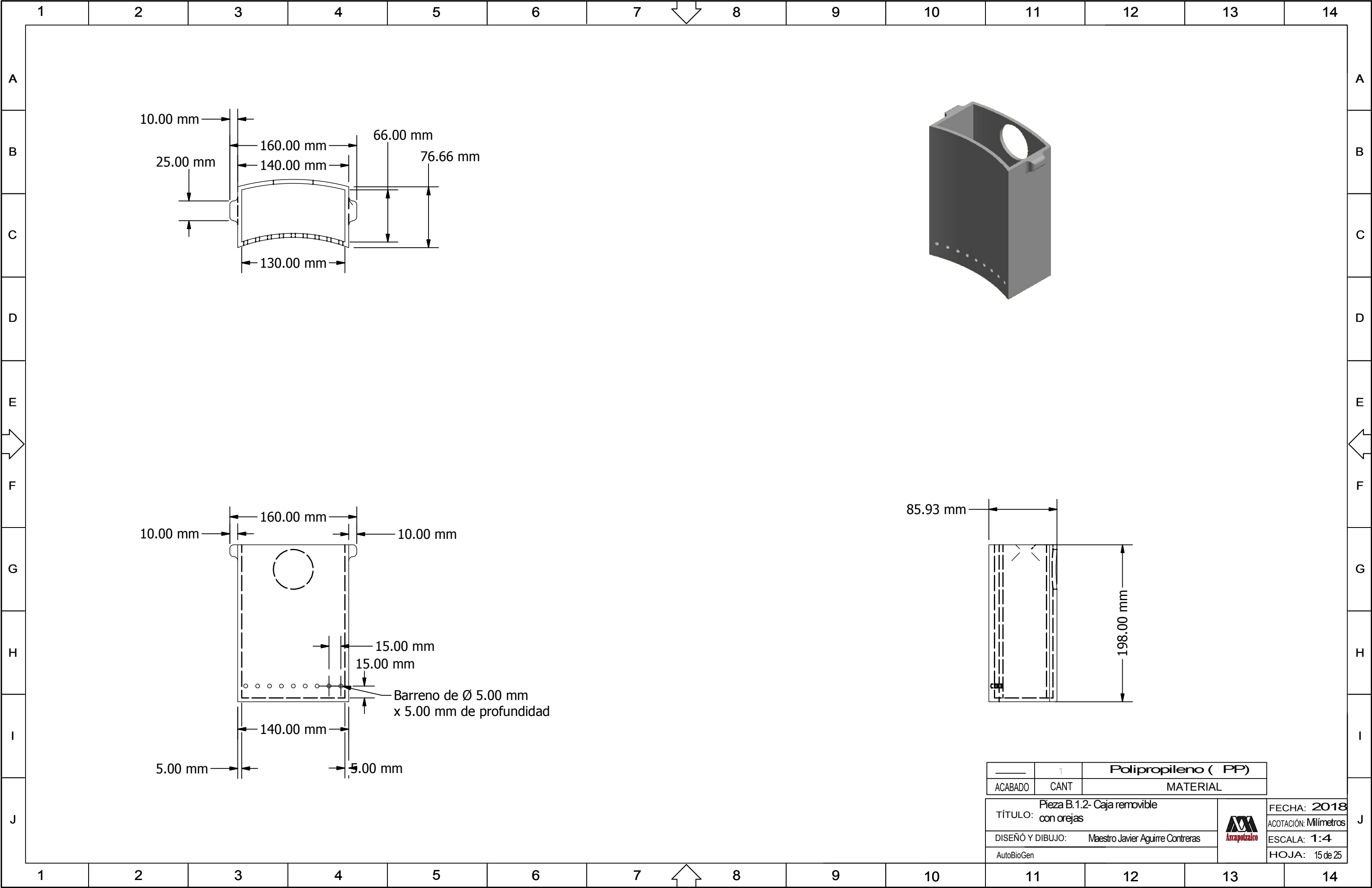
DETAIL A  
SCALE 1 / 4

Empaque de plástico de Ø 383.00 mm  
x 1.00 mm de ancho  
Empaque de plástico de Ø 377.00 mm  
x 1.00 mm de ancho



Barreno de Ø 50.00 mm  
x 20.00 mm de profundidad  
Barreno de Ø 20.00 mm  
x 10.00 mm de profundidad

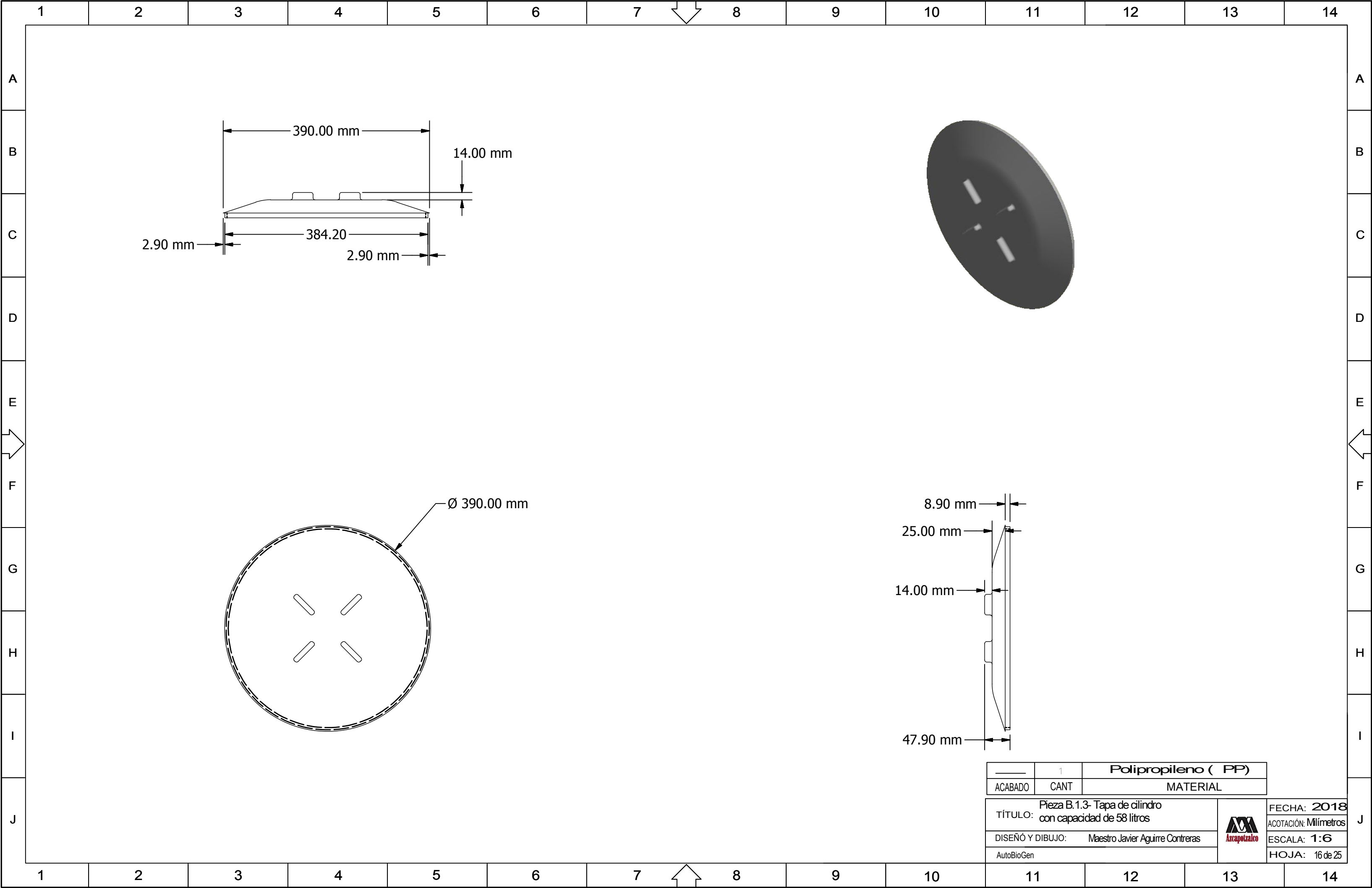
		1	Polipropileno ( PP )
ACABADO	CANT	MATERIAL	
TÍTULO: Pieza B.1.1- Cilindro con capacidad de 58 litros			FECHA: 2018
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras			ACOTACIÓN: Milímetros
AutoBioGen			ESCALA: 1:8
			HOJA: 14 de 25



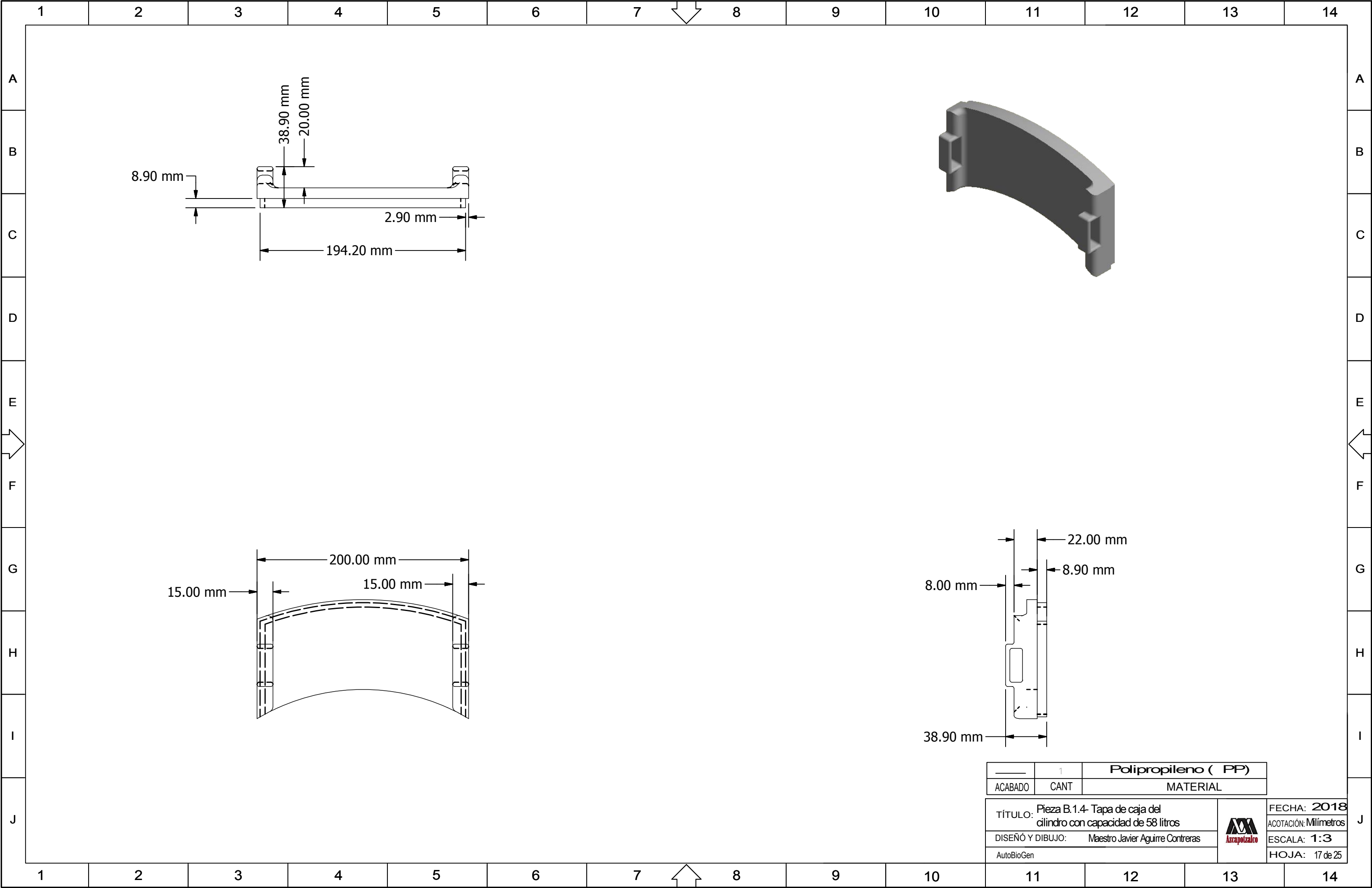
	1	Polipropileno ( PP )
ACABADO	CANT	MATERIAL

TÍTULO:	Pieza B.1.2- Caja removible con orejas
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
AutoBioGen	

FECHA:	2018
ACOTACIÓN:	Milímetros
ESCALA:	1:4
HOJA:	15 de 25



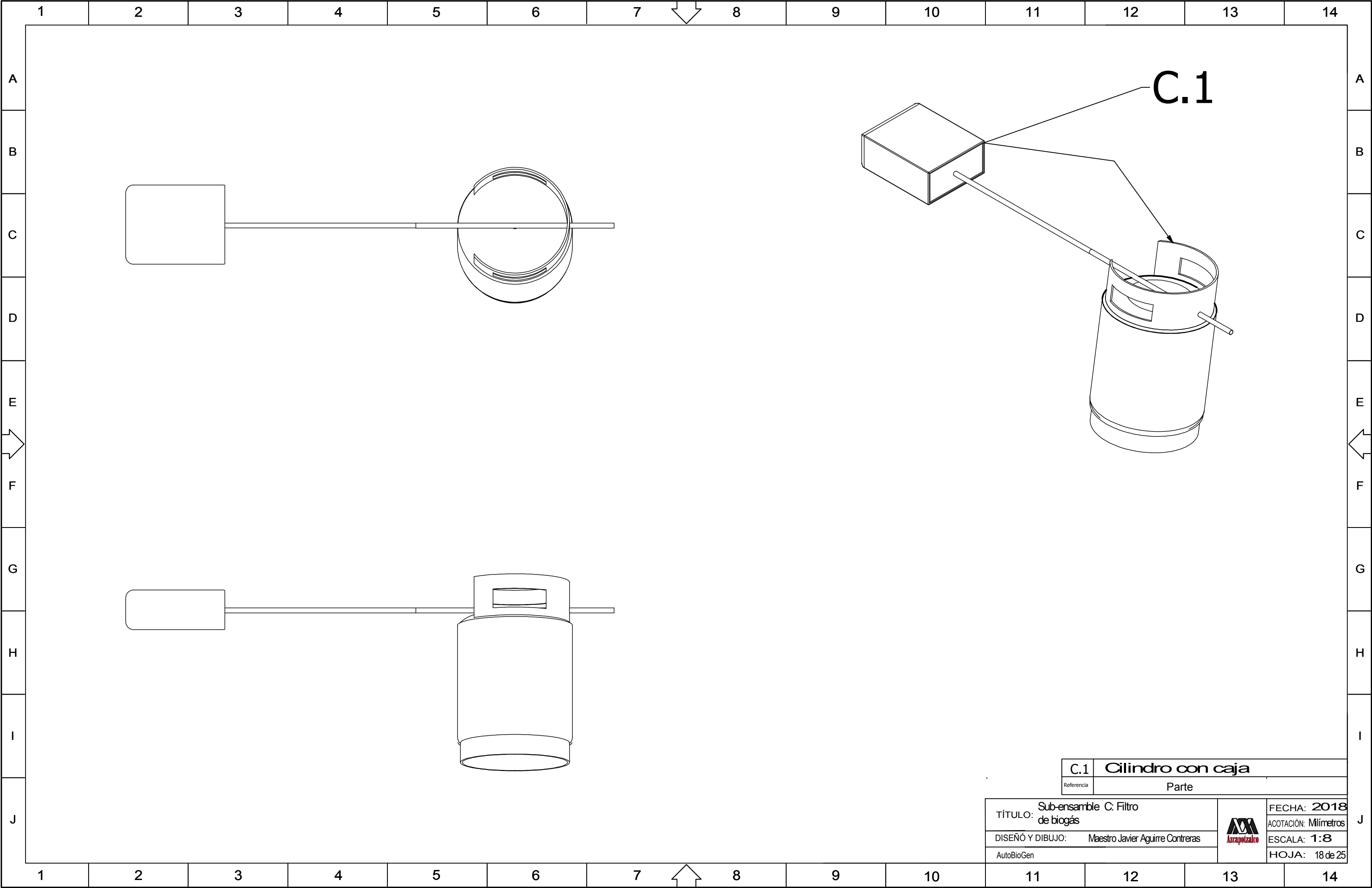


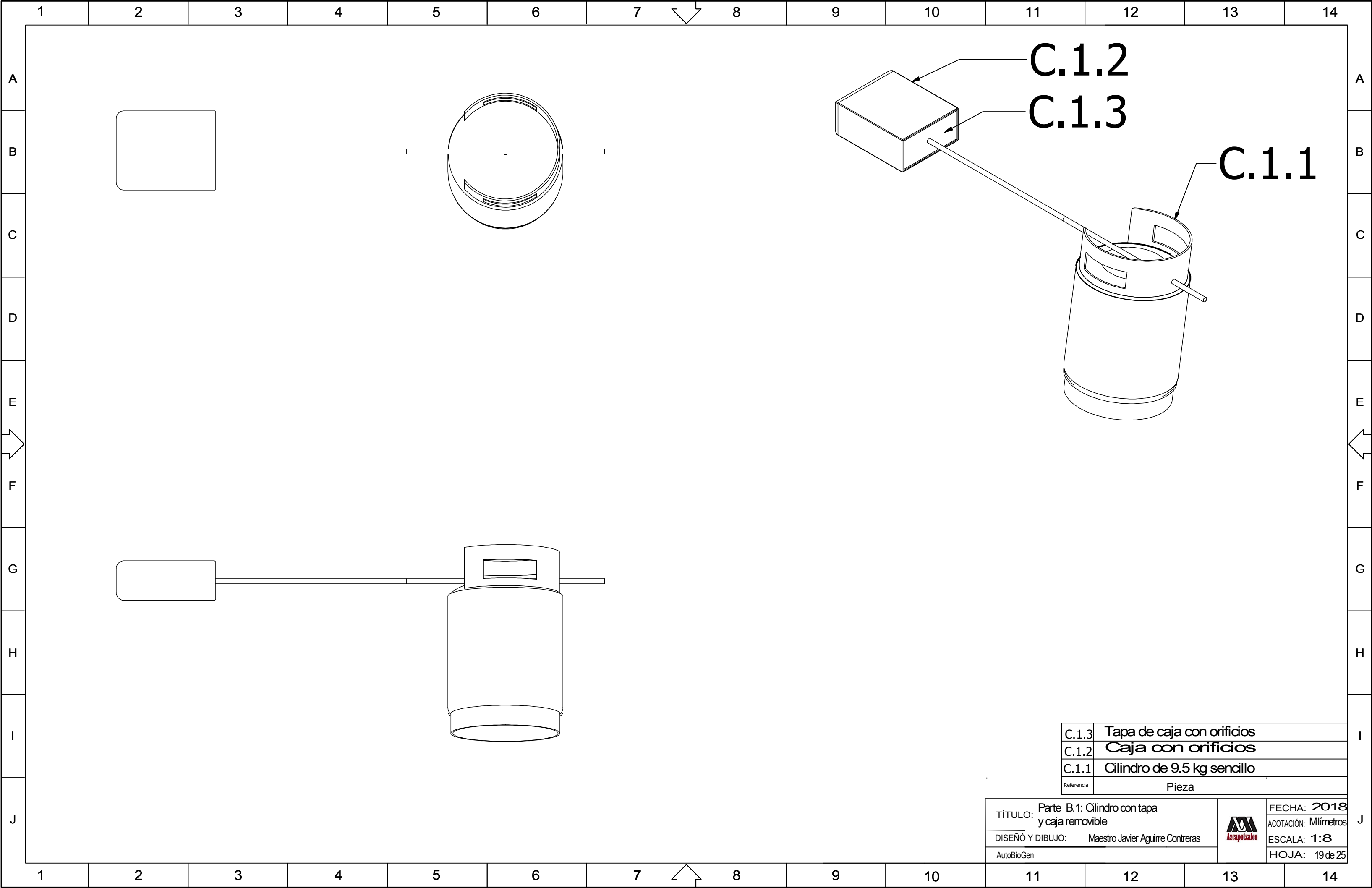


	1	Polipropileno ( PP )
ACABADO	CANT	MATERIAL

TÍTULO:	Pieza B.1.4- Tapa de caja del cilindro con capacidad de 58 litros
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
AutoBioGen	

FECHA:	2018
ACOTACIÓN:	Milímetros
ESCALA:	1:3
HOJA:	17 de 25

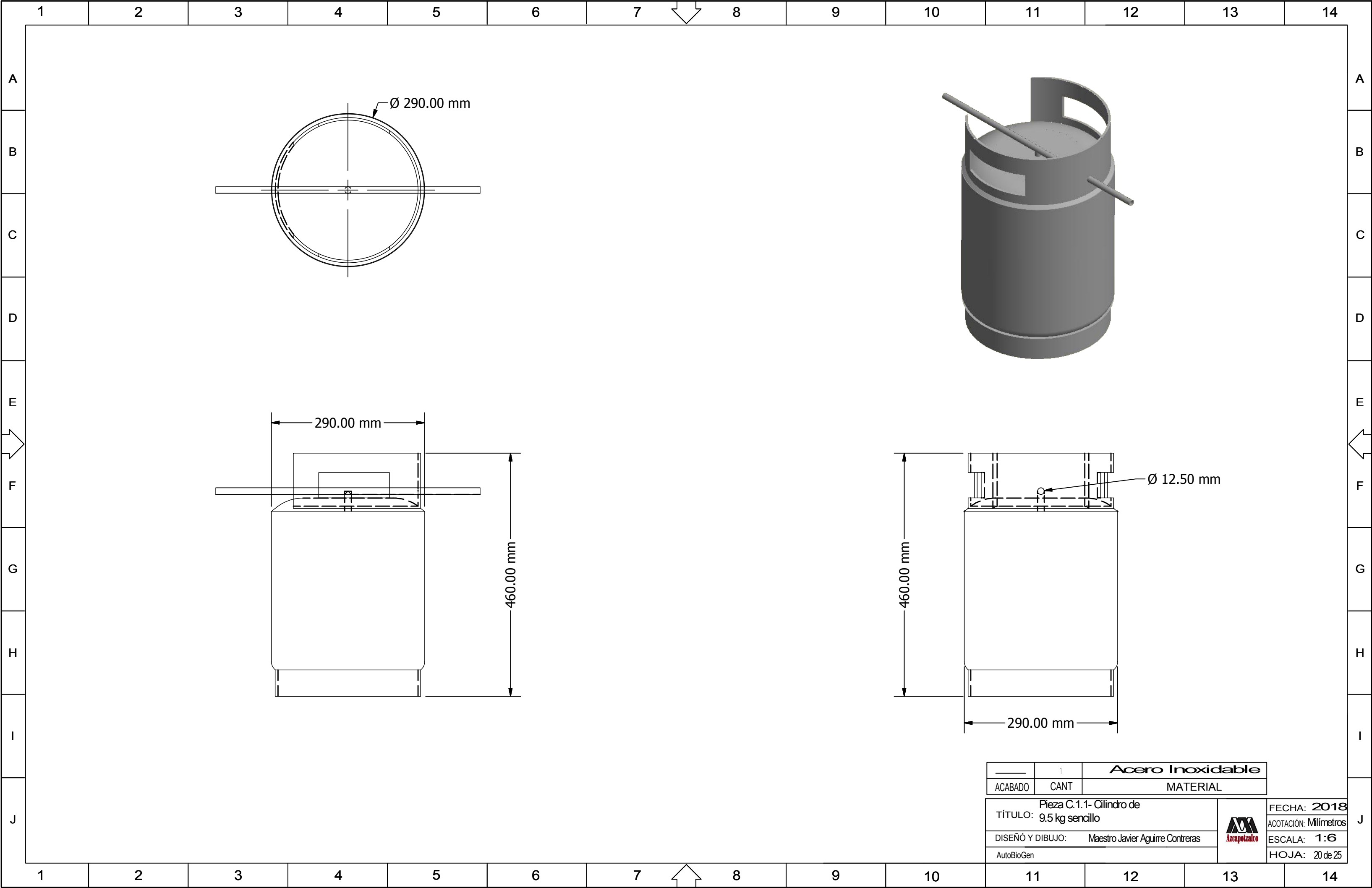


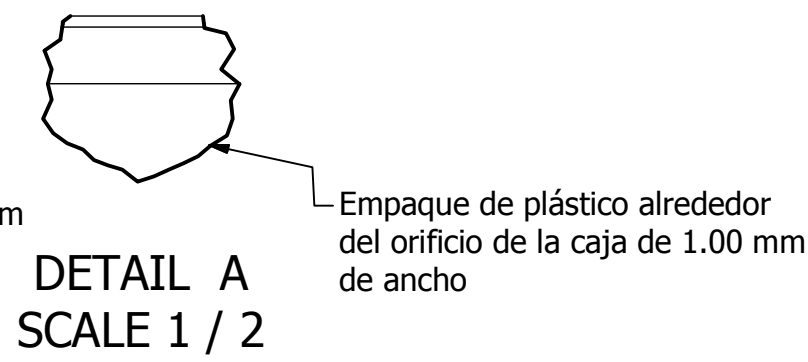
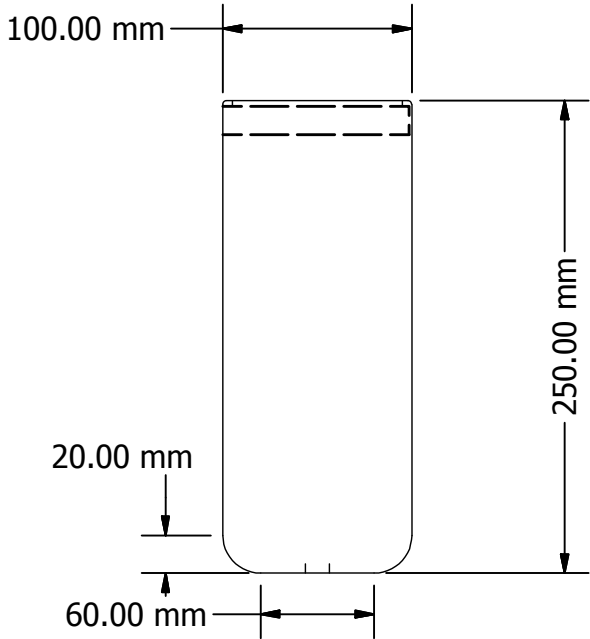
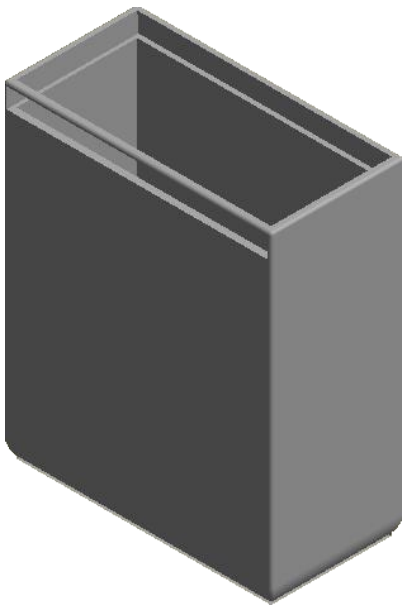
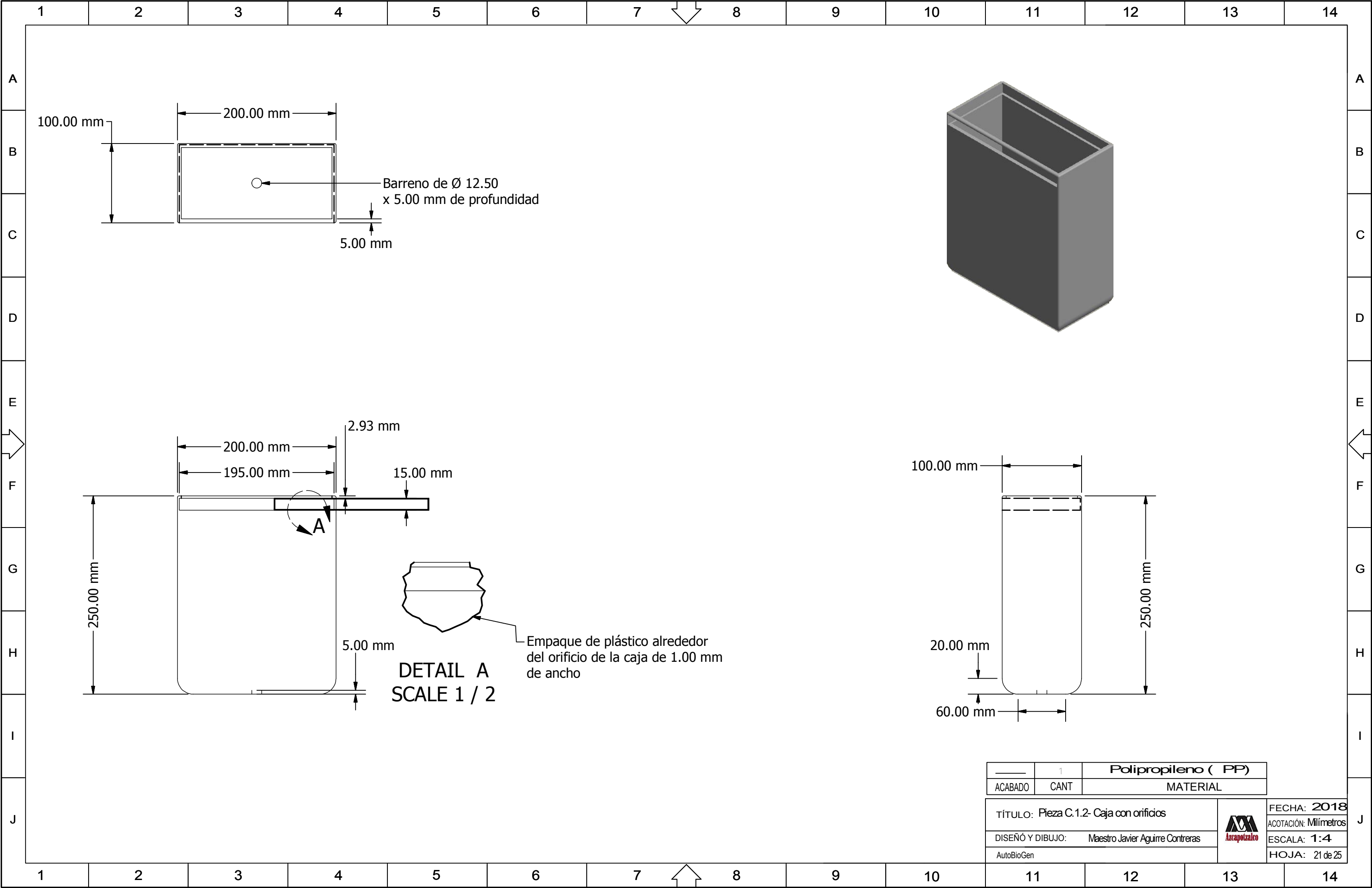


C.1.3	Tapa de caja con orificios
C.1.2	Caja con orificios
C.1.1	Cilindro de 9.5 kg sencillo
Referencia	Pieza

TÍTULO:	Parte B.1: Cilindro con tapa y caja removible
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
AutoBioGen	

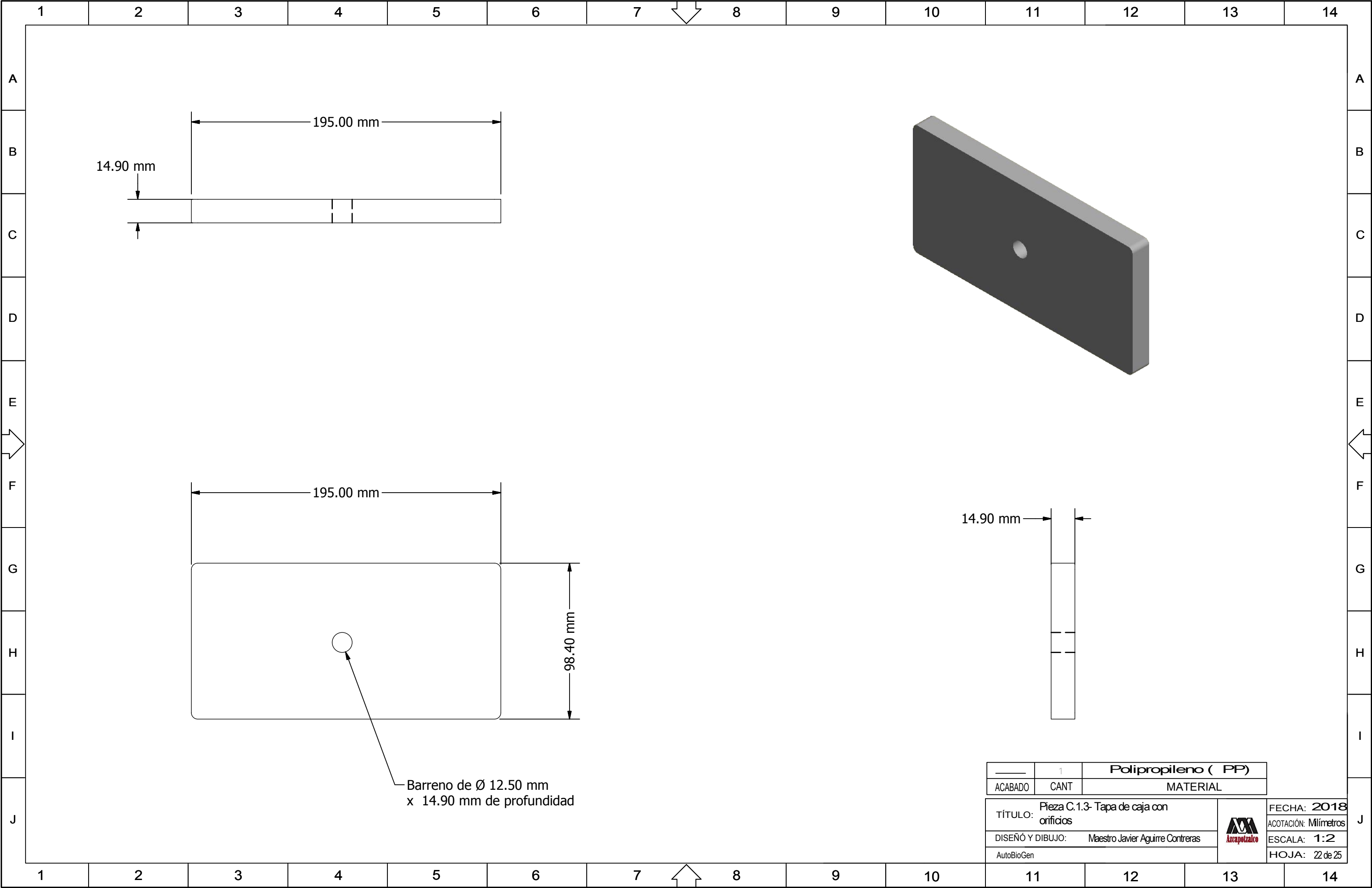
FECHA:	2018
ACOTACIÓN:	Milímetros
ESCALA:	1:8
HOJA:	19 de 25



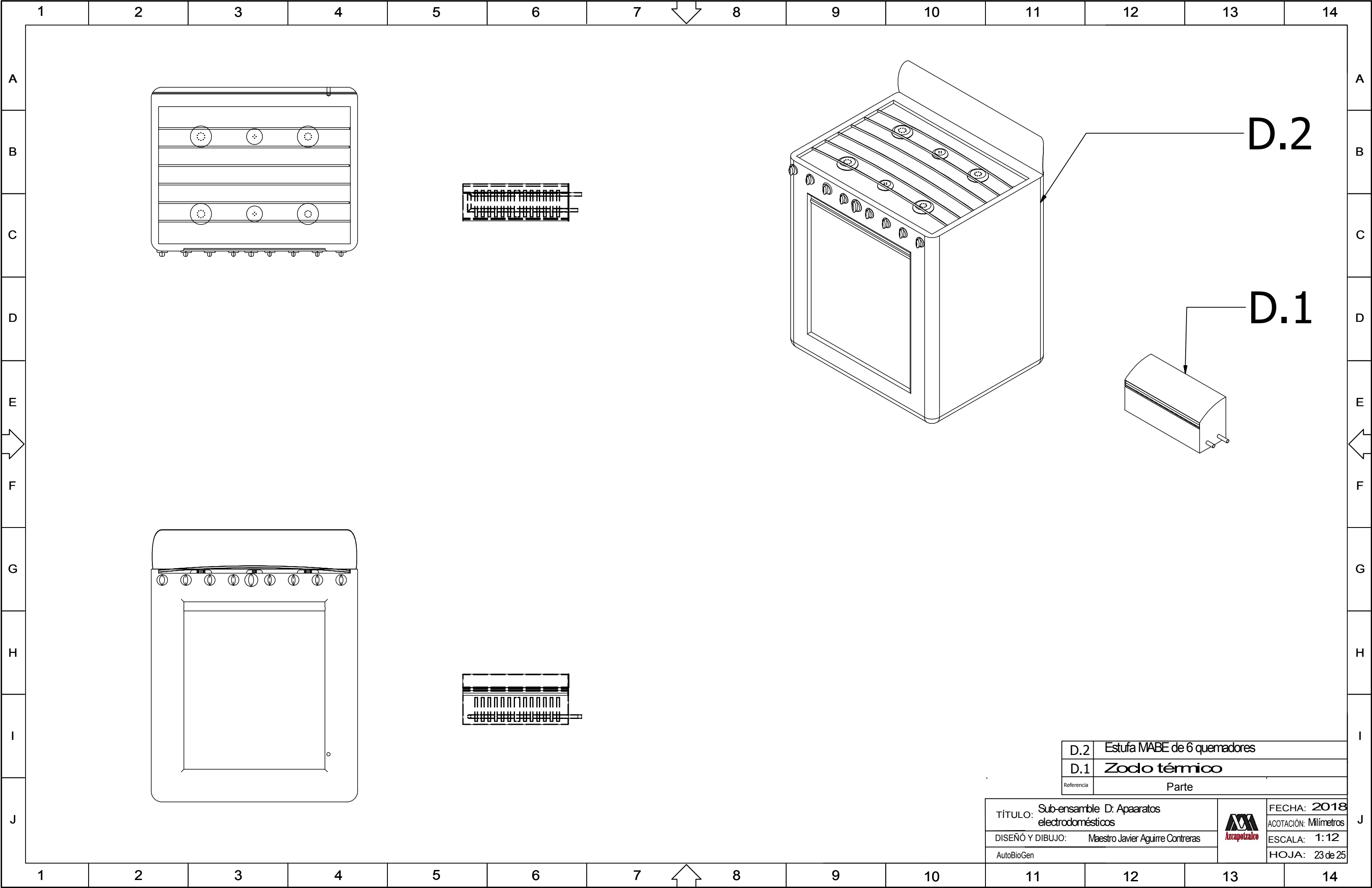


_____	1	Polipropileno ( PP )
ACABADO	CANT	MATERIAL
TÍTULO: Pieza C.1.2- Caja con orificios		
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras		
AutoBioGen		

	FECHA: 2018
	ACOTACIÓN: Milímetros
	ESCALA: 1:4
	HOJA: 21 de 25



_____	1	Polipropileno ( PP )	
ACABADO	CANT	MATERIAL	
TÍTULO:		 Azcapotzalco	FECHA: 2018
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras			ACOTACIÓN: Milímetros
AutoBioGen			ESCALA: 1:2
			HOJA: 22 de 25

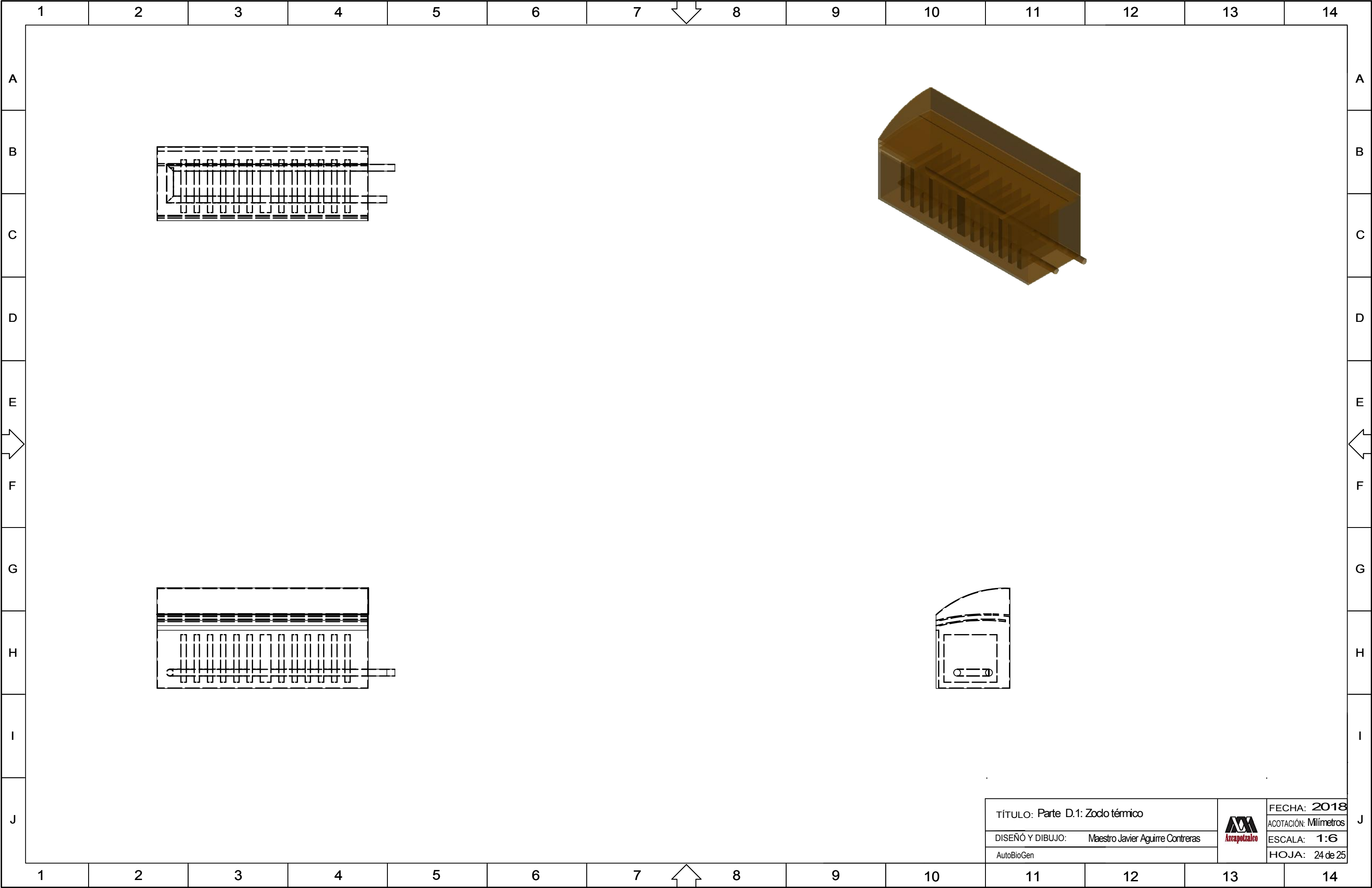


D.2	Estufa MABE de 6 quemadores
D.1	Zodo térmico
Referencia	Parte

TÍTULO:	Sub-ensamble D: Aparatos electrodomésticos
DISEÑO Y DIBUJO:	Maestro Javier Aguirre Contreras
AutoBioGen	



FECHA:	2018
ACOTACIÓN:	Milímetros
ESCALA:	1:12
HOJA:	23 de 25



TÍTULO: Parte D.1: Zodo térmico

DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras

AutoBioGen



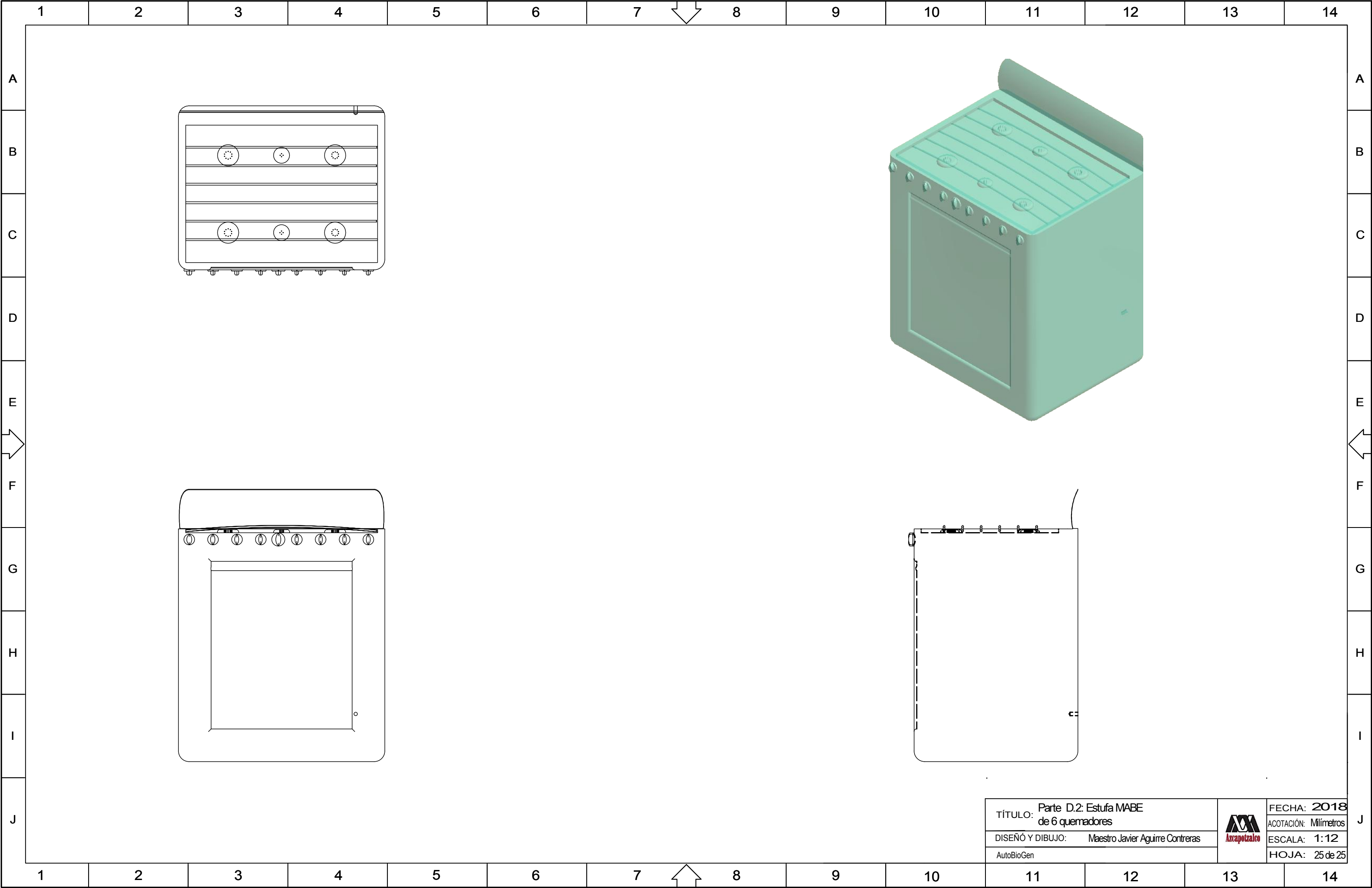
FECHA: 2018

ACOTACIÓN: Milímetros

ESCALA: 1:6

HOJA: 24 de 25





TÍTULO: Parte D.2: Estufa MABE  
de 6 quemadores  
DISEÑO Y DIBUJO: Maestro Javier Aguirre Contreras  
AutoBioGen

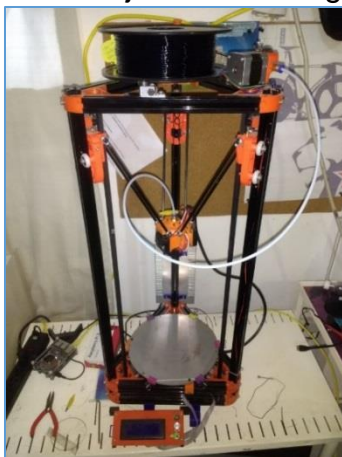
FECHA: 2018  
ACOTACIÓN: Milímetros  
ESCALA: 1:12  
HOJA: 25 de 25



## A.11 Características de la impresora marca FLSUN 3D Metal Frame modelo Kossel Delta

### Impresora 3D marca FLSUN modelo Kossel Delta

- País de origen: Zhengzhou, China.
- Voltaje: 110/220 volts (V).
- Calidad de la boquilla: uno.
- Poder: 72W.
- Área de impresión: 180 mm x300 mm.
- Peso: 7 kg.
- Dimensiones: 300 mm x 400 mm x 680 mm.
- Material de filamentos: PLA/ABS/PVA/HIPS/WOOD.
- Tamaño del empaque de la impresora: 700 mm x 330 mm x 100 mm.
- Tamaño del filamento: 1.75 mm.
- Diámetro de la boquilla: 0.4 mm.
- Extensión de archivo: STL, GCODE, OBJ.
- Grosor de la capa: 0.1-0.4 mm.
- Grado automático: Totalmente automático.
- Velocidad de impresión: 20-150 mm/s.
- Formato de impresión: Tarjeta Secure Digital (SD)/Universal Serial Bus (USB).



**Figura A.22.** Fotografía de la impresora 3D Marca FLSUN modelo Kossel Delta.  
(Elaboración propia)

## A.12 Tarifa eléctrica en la casa de San Luis Huexotla

Como se puede observar en la Figura A.1, el costo del kWh hora depende del consumo eléctrico que tenga la casa-habitación en cuestión dado que si el consumo de electricidad en el mes de enero 2017 es del tipo Básico (65 kWh) el costo de kilowatt por hora es de \$0.793. El consumo Intermedio (75 kWh) su costo es de \$0.956 pesos, en tanto que el Consumo Alto (kWh adicional a los anteriores) el costo es de \$2.802 (CFE, 2017), además el costo del kWh depende de la estación del año y del clima de la región, entre otros). Pero de acuerdo a la Tabla A.5 el consumo de la casa localizada en la calle Campesinos No.2 San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México el consumo de electricidad es básico por lo que si sumamos los costos y obtenemos el promedio del costo del kWh oscila en \$1.32 pesos.



Periodo	Energía (kWh)
del 13 DIC 17 al 14 FEB 18	108
del 16 OCT 17 al 13 DIC 17	60
del 15 AGO 17 al 16 OCT 17	50
del 15 JUN 17 al 15 AGO 17	65
del 17 ABR 17 al 15 JUN 17	83
del 13 FEB 17 al 17 ABR 17	91
del 13 DIC 16 al 13 FEB 17	99
del 13 OCT 16 al 13 DIC 16	105
del 12 AGO 16 al 13 OCT 16	124
del 13 JUN 16 al 12 AGO 16	81
del 13 ABR 16 al 13 JUN 16	73

**Figura A.23.** Recibo de luz. (CFE 2017-2018)

**Tabla A.13.** Tabla bimestral diciembre de 2017 a febrero de 2018. (CFE 2017-2018)

Facturación	kWh	Importe
Del 13 de diciembre de 2016 al 13 de febrero de 2017	99	\$99.00
Del 13 de febrero de 2017 al 17 de abril de 2017	91	\$91.00
Del 17 de abril de 2017 al 15 de junio de 2017	83	\$83.00
Del 15 de junio de 2017 al 15 de agosto de 2017	65	\$65.00
Del 15 de agosto de 2017 al 16 de octubre de 2017	50	\$50.00
Del 16 de octubre de 2017 al 13 de diciembre de 2017	60	\$60.00
Del 13 de diciembre de 2017 al 14 de febrero de 2018	108	\$108.00
Total	556	\$556.00

Si sumamos el importe de los siete bimestres obtenemos \$556.00 pesos, y lo dividimos entre los siete bimestres, entonces el costo por bimestre es de \$79.43 pesos, si esto lo dividimos entre 60 días que corresponden a un bimestre, obtenemos que el costo de un kWh/día es de \$1.32 pesos en la vivienda ubicada en la calle Campesinos No. 2, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.

### A.13 Tipos de calefactores eléctricos

Los calefactores eléctricos son aparatos que ayudan a mantener una temperatura entre 20 y 28°C para templar una habitación y no tener frío en las épocas de invierno. Los calefactores eléctricos a diferencia de la calefacción central, son más económicos y seguros que los calentadores de gas, ya que estos últimos pueden correr el riesgo de una intoxicación. Es importante considerar la cantidad de corriente eléctrica que necesitan, por lo que se debe seleccionar un aparato adecuado tomando en cuenta las dimensiones de la habitación que se desea calentar, así como también presupuesto y hábitos de consumo de electricidad (PROFECO, 2012). Los sistemas de funcionamiento son los siguientes:

- De convección forzada: Mediante un ventilador hace pasar un flujo de aire a través de una resistencia eléctrica, que puede ser cerámica, alambre o cuarzo.
- De radiación térmica. Disipan el calor mediante placas metálicas, mica térmica, cuarzo, lámparas de carbón o de tungsteno y placas metálicas con aceite.

Los modelos tanto convección forzada como de radiación térmica, son convenientes para calentar cuartos pequeños de 3X3 m hasta habitaciones medianas de 4X4 m pero no son recomendables para remplazar sistemas de calefacción a gas o eléctrico en edificios o cuando se requiere calentar varias habitaciones al mismo tiempo.

Los calefactores eléctricos evaporan la humedad, por lo que se debe usar solo el tiempo que sea necesario, para alcanzar una temperatura agradable. Utilizarlos en largos periodos puede provocar daños a los muebles especialmente a los de madera, hasta problemas respiratorios o sequedad a las persona. Los sistemas de convección forzada son los que eliminan más humedad.

Los calefactores eléctricos se pueden clasificar por su forma, tamaño y tipo de elemento calefactor:

- Tipo torre: Similares a un cilindro con salida de aire rectangular cuyo elemento calefactor es una resistencia cerámica o de alambre o bien de cuarzo, carbón o halógeno.
- Panel: So rectangulares y muy planos, carecen de ventilador y el calor lo irradia una mica térmica a través de una de sus caras.
- Aceite: La mayoría carecen de ventilador y está formado por placas metálicas muy delgadas (Una detrás de la otra), por donde circula el aceite. El calor se irradia directamente a través de las placas.
- De piso o mini: Son pequeños pueden incluir una resistencia cerámica o de alambre como elemento calefactor, sus forma puede variar (cilíndrica, tipo caja, entre otros)

En la Tabla A.14 se muestra las marcas, modelos, tiendas, precios y su consumo de electricidad (kWh) de los calefactores eléctricos en la Ciudad de México y Zona Metropolitana (Procuraduría Federal del Consumidor, 2012).

**Tabla A.14.** Marcas, modelos, tiendas, precios y kWh sobre los calefactores eléctricos. (PROFECO, 2012)

Calefactores eléctricos				
Calefactores eléctricos de convección forzada de tipo torre y de piso				
Marca	Modelo	Precio único	Cadena	Consumo de electricidad (kWh)
Bonaire	BCH9212-LA013	\$799	Sears	1.438
Bonaire	BCH4267-LA013	\$568	Mega comercial mexicana	1.417
Lakewood	LCH4051-LA013	\$270	Comercial Mexicana	1.419
Lakewood	LCH2102	\$457	Comercial Mexicana	1.460
GE	CG1500DHN	\$999	Elektra	1.340
<b>Bonaire</b>	<b>BFH416 LA013</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>0.7335</b>
Man/Navia	CCM-90	\$972	Viana	1.145
Birtman	BCC-1500	*	*	1.347
Master Craft	EB38957	\$319	Soriana	1.328
Everheat	NT15-9FJ	\$319	The Home Depot	1.382
Homeline	EH30522G	\$225	Chedraui	1.369
Lakewood	LFH108-LA013	\$289	Coppel	1.383
ProfessionalSeries	KAD-11	\$1,699	Sears	1.379
Delonghi	DCH5090 ER	*	*	1.347
Delonghi	TCH7090 ER	*	*	1.478
MasterCraft	EH30483G	\$379	Soriana	1.276
MasterCraft	EH30407G	\$229	Soriana	1.504

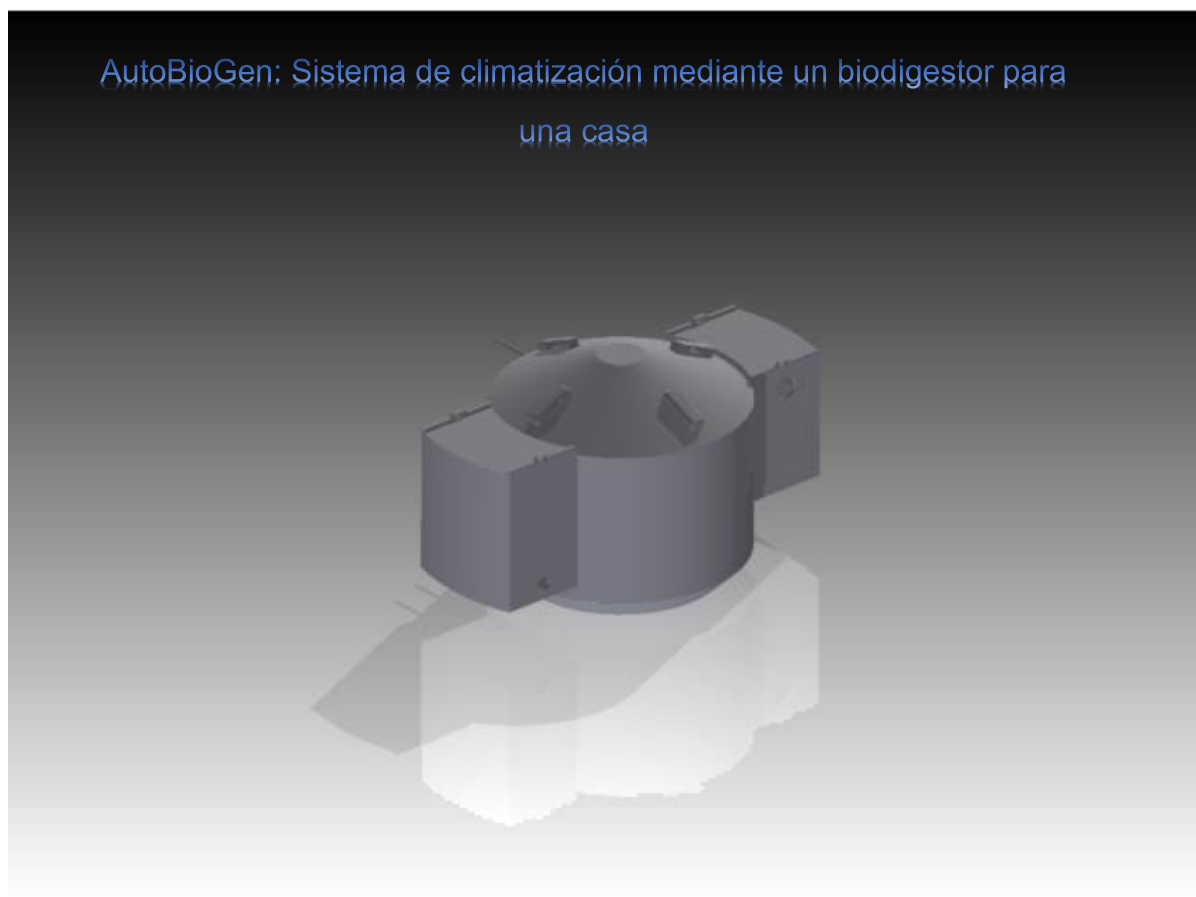
MasterCraft	EB39913	\$239	Soriana	1.504
Calefactores eléctricos de radiación tipo torre y de piso				
<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Precio único</b>	<b>Cadena</b>	<b>Consumo de electricidad (kWh)</b>
Naoki	DCH0273	\$328	Comercial Mexicana	1.197
Everheat	LH-890SN	\$699	The Home Depot	1.502
Naoki	DCH0462	\$618	Mexicana	1.178
Calefactores eléctricos de radiación tipo panel				
<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Precio único</b>	<b>Cadena</b>	<b>Consumo de electricidad (kWh)</b>
DeLonghi	HMP 1500	\$1,599	Sears	0.321
Bonaire	BH1520	*	*	1.522
Calefactores eléctricos de radiación de aceite				
<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Precio único</b>	<b>Cadena</b>	<b>Consumo de electricidad (kWh)</b>
DeLonghi	EW7007 CB	*	*	0.922
Home line	EH30614G	\$695	Chedraui	0.362
Naoki	EH30365G	\$438	Comercial Mexicana	0.516

**Nota:** ■ Modelo que se escogió para una casa.

\* No se encontro el producto en la tiendas visitadas para la recopilación de precios.

El modelo de convección con la mejor relación temperatura máxima alcanzada versus kWh, es el Bonaire BFH416-LA013 (0.7335 kWh y logra una temperatura cercana a los 25°C).

## A.14 Manual de instalación y mantenimiento para el AutoBioGen



**Tabla A.24.** *Render del AutoBioGen. (Elaboración propia)*

Sistema de calefacción que utiliza un biodigestor (AutoBioGen) para una casa de cuatro personas. El sistema fue diseñado para utilizar la temperatura generada dentro del biodigestor, transfiriendo esa temperatura a una manguera dentro del biodigestor que lleva agua caliente a un zocalo térmico que climatiza la sala de la casa. Además, el biogás producido se utiliza como combustible para la estufa de la casa. El monitoreo del metano ( $\text{CH}_4$ ) producido en el biodigestor se realizó con un dispositivo electrónico conocido como Arduino Uno, para detectar si el  $\text{CH}_4$  generado excede los límites establecidos para evitar una posible explosión por acumulación de metano.



El sistema ayudará a mantener una temperatura promedio de entre 15 y 20°C, reduciendo el uso de acondicionadores de aire, que requieren y consumen grandes cantidades de energía eléctrica, generada principalmente por la combustión de combustibles fósiles.

El Autoiobiogen es utilizado para los siguientes fines:

- Calefacción: reemplazando la función de un calefactor
- Monitorización de biogás

La instalación del AutoBioGen reduce la emisión de GEI y la contaminación de los ríos generada por el excremento humano.

### Especificaciones técnicas

Equipo para climatiza una sala, así como también para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Fabricado con polietileno (PE).

### Tabla de capacidad

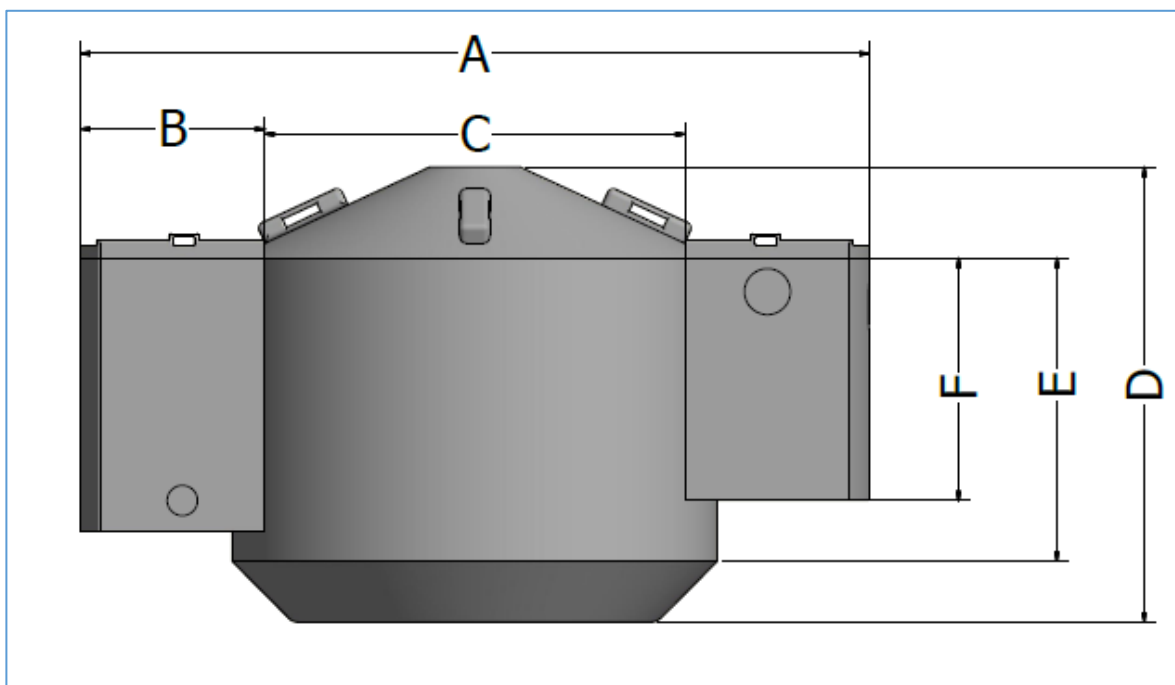
**Tabla A.14.** Medidas y capacidad del AutoBioGen. (Elaboración propia)

Medidas y capacidad					
Capacidad	Diámetro	Altura	Servicio a personas	Color	Material
302 litros	1,300.00 mm	600.00 mm	4	Negro	polietileno

### Dimensiones

**Tabla A.15.** Referencias del AutoBioGen. (Elaboración propia)

Referencias	AutoBioGen capacidad 302 litros
A	1,300 mm
B	250.00 mm
C	800.00 mm
D	760.00 mm
E	450.00 mm
F	550.00 mm



**Tabla A.25.** Dimensiones del AutoBioGen. (Elaboración propia)

## Beneficios

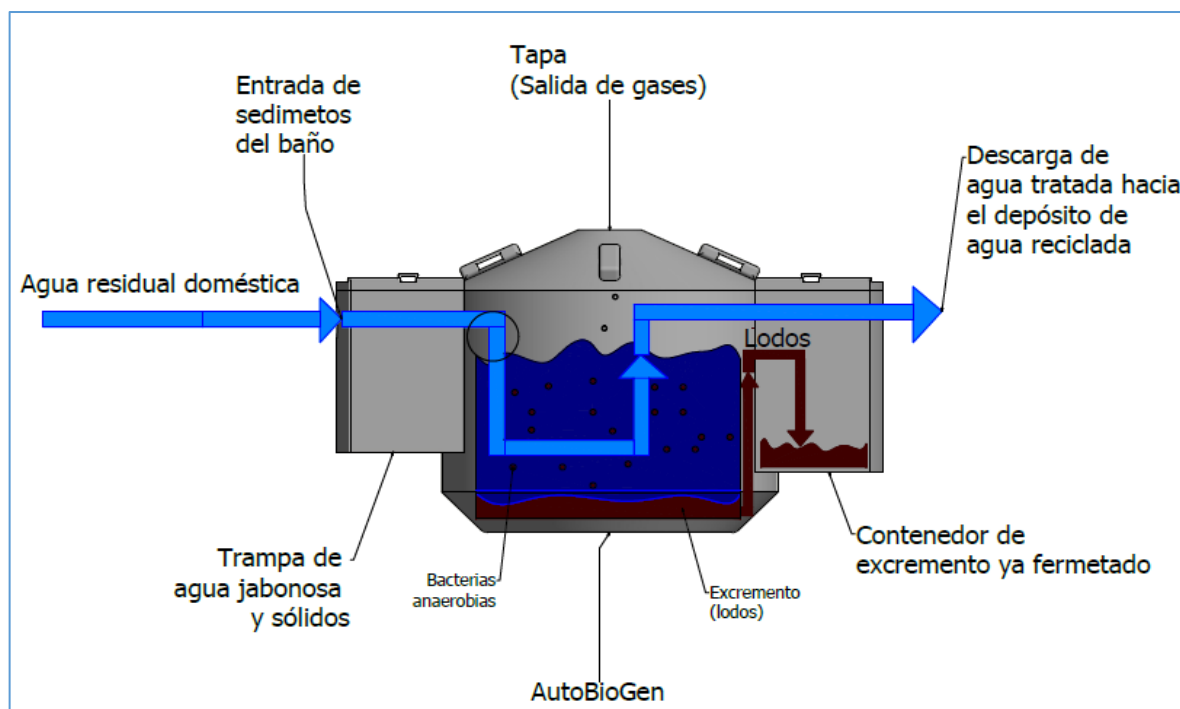
El AutoBioGen tiene los siguientes beneficios:

- Utiliza la fermentación anaeróbica para generar biogás.
- Puede ser instalado en cualquier tipo de casas que tengan un espacio de 3 m<sup>2</sup>, con el fin de realizar los fines anteriormente mencionados.
- No es necesario equipo especializado para limpiar el AutoBioGen.
- Es hermético, construido de una sola pieza para evitar fugas y agrietamientos. Es ligero y fuerte ofrece una alta resistencia a impactos y corrosión.
- El AutoBioGen cumple con la NOM-006-CONAGUA.1997 "Fosa séptica prefabricada- especificaciones y métodos de prueba"

## Funcionamiento

- El agua residual proveniente del inodoro entra a la primera caja del AutoBioGen. El agua jabonosa como los sólidos son separados del excremento.

- El excremento con agua pasan cilindro del AutoBioGen donde se fermentan, con el fin de generar biogás.
- La tubería con agua instalada dentro del cilindro es calentada por el proceso de fermentación, esta agua es utilizada para climatizar la sala mediante un zoclo térmico.
- Después de fermentarse el excremento pasa a la segunda caja del AutoBioGen donde se separa el agua del excremento.



**Tabla A.26.** Pasos del excremento en el AutoBioGen. (Elaboración propia)

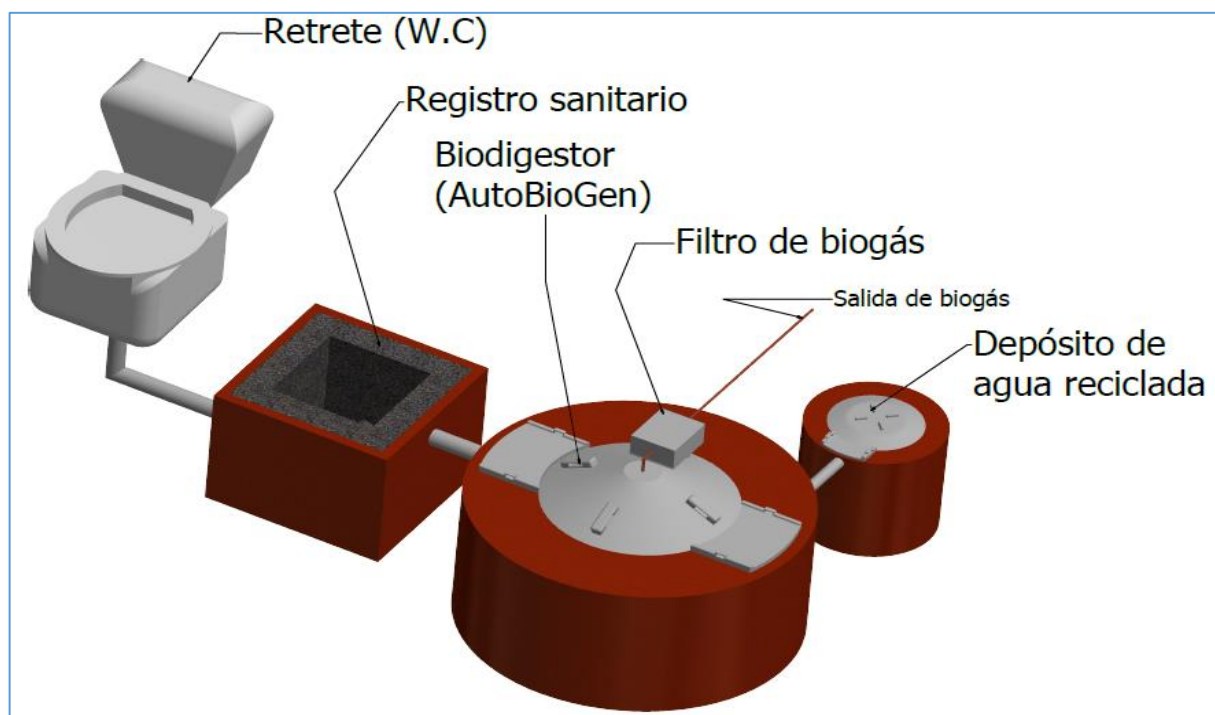
El proceso de biodigestión anaerobia inicia una vez que el excremento humano llega del baño al AutoBioGen.

1. El agua residual proveniente del retrete pasa por el registro sanitario y este dirige el agua hacia la trampa de agua jabonosa y sólido en donde se separa el excremento de los sólidos o el jabón que puede contener.
2. Las bacterias contenidas en el interior del AutoBioGen fermentan el excremento y como resultado de este proceso se libera biogás el cual contiene los siguientes gases.
  - $\text{CO}_2$

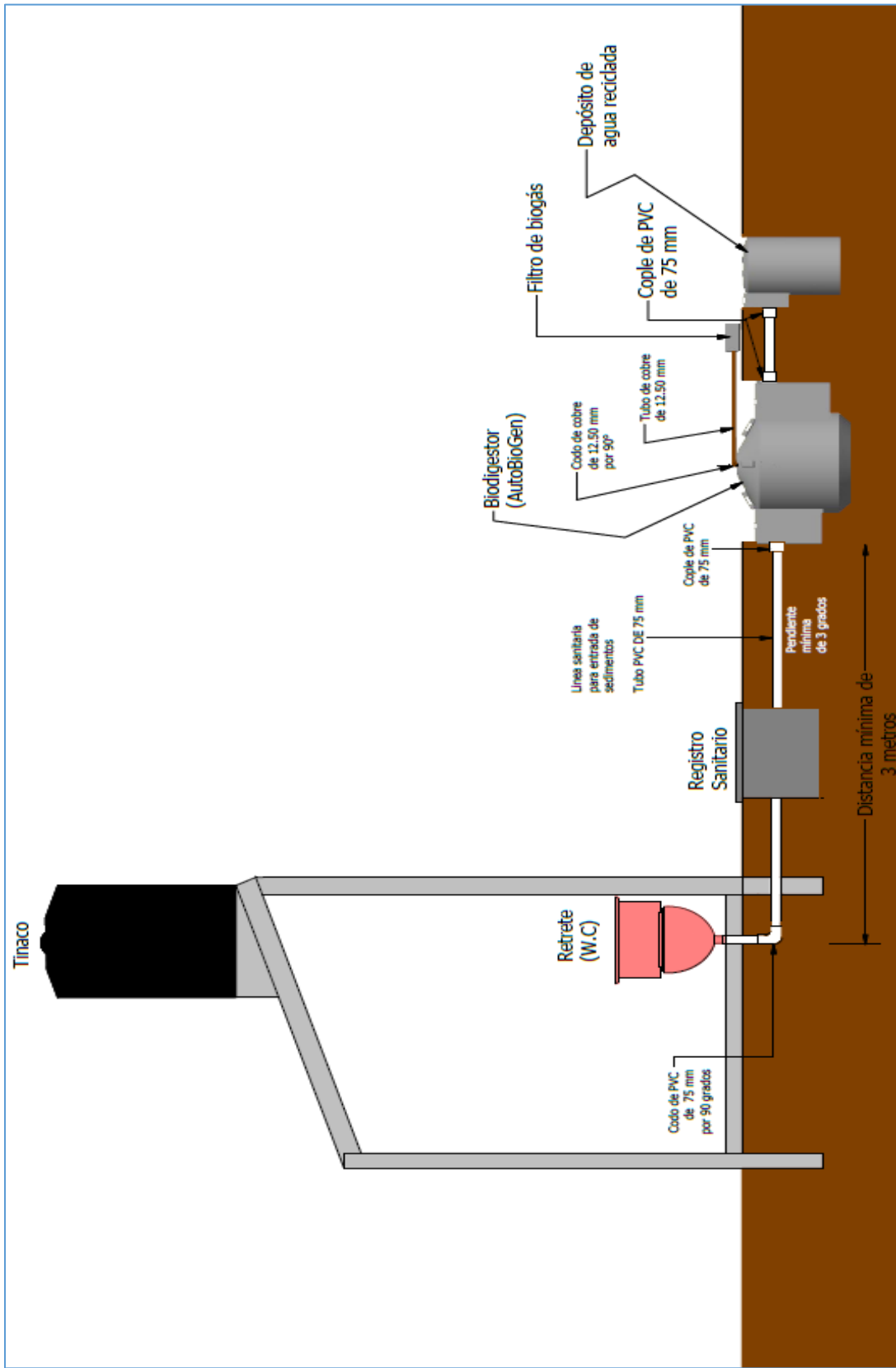
- $\text{CH}_4$
  - $\text{H}_2\text{S}$
3. El  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CH}_4$  sale por el orificio situado en la parte superior de la tapa del AutoBioGen, estos gases se dirigen al filtro de biogás, en el cual solo permite la salida de  $\text{CH}_4$  para ser usado en la estufa doméstica.
4. En el contenedor de excremento ya fermentado se separa el excremento del agua.
- El excremento ya separado del agua, se deja secar por espacio de dos meses, para después mezclarlo con un poco de cal para utilizarlo como abono para plantas.
  - En cuanto al agua tratada, esta se dirige a una caja del depósito de agua reciclada la cual contiene bioesferas, zeolita y carbón activo para filtrar esta agua del material fecal que pueda contener, con la finalidad de ser reutilizada para el riego de plantas.

#### **Material necesario para la instalación del AutoBioGen diseñado**

- Un tubo de PVC sanitario de 75 mm con un mínimo de 5 m de largo.
- Un codo de PVC de 75 mm por  $90^\circ$ .
- Tres coples de 75 mm.
- Pegamento para PVC sanitario.
- Un tubo de cobre de 12.5 mm con un mínimo de 1 m de largo.
- Un codo de cobre de 12.5 mm por  $90^\circ$ .
- Soldadura de estaño.
- Pasta para soldar.
- Un cartucho de gas butano.
- Soplete para cartucho de gas butano.



**Figura A.27.** Conexión sanitaria del retrete al AutoBioGen. (Elaboración propia)



**Figura A.28.** Material para la colocación del AutoBioGen. (Elaboración propia)

## Pasos para la instalación del AutoBioGen

1. Trazos y excavación para las líneas sanitarias: Antes de iniciar la instalación del AutoBioGen deberá:

- Seleccionar el lugar de colocación del AutoBioGen.
- Excavar las líneas sanitarias del registro sanitario al AutoBioGen.
- Cada línea sanitaria deberá contar con un mínimo de 3 metros de largo y con una inclinación de 3 grados por cada metro.

2. Excavaciones para la instalación del sistema: Al realizar la excavación para colocar el AutoBioGen, tomando en cuenta:

- La altura y diámetro del AutoBioGen ver a Tabla A.16 y Figura A.29.
- Se debe mantener una distancia mínima de un metro entre los mantos freáticos y el fondo de la excavación para el AutoBioGen.

**Tabla A.16.** Medidas para la instalación del AutoBioGen. (Elaboración propia)

Medidas recomendadas para la instalación del AutoBioGen						
AutoBioGen		Excavación del contenedor de excremento			Excavación del depósito de agua reciclada	
Capacidad	A. línea de entrada	B1. Diámetro	B2. Altura	C. línea de descarga	D1. Diámetro	D2. Altura
302 litros	3 metros	1.3 metros	0.6 metros	0.50 metros	0.58 metros	0.49 metros

3. Colocación del AutoBioGen: Antes de colocar el AutoBioGen dentro de la excavación debe considerar:

- La plantilla de base debe estar perfectamente seca y retirar cualquier objeto punzo cortante (grava, piedras, varillas, entre otros) que pueda dañar el cuerpo del AutoBioGen.
- No dejar caer el AutoBioGen, ni deslizarlo, se podría desprender material al fondo y dañarlo.

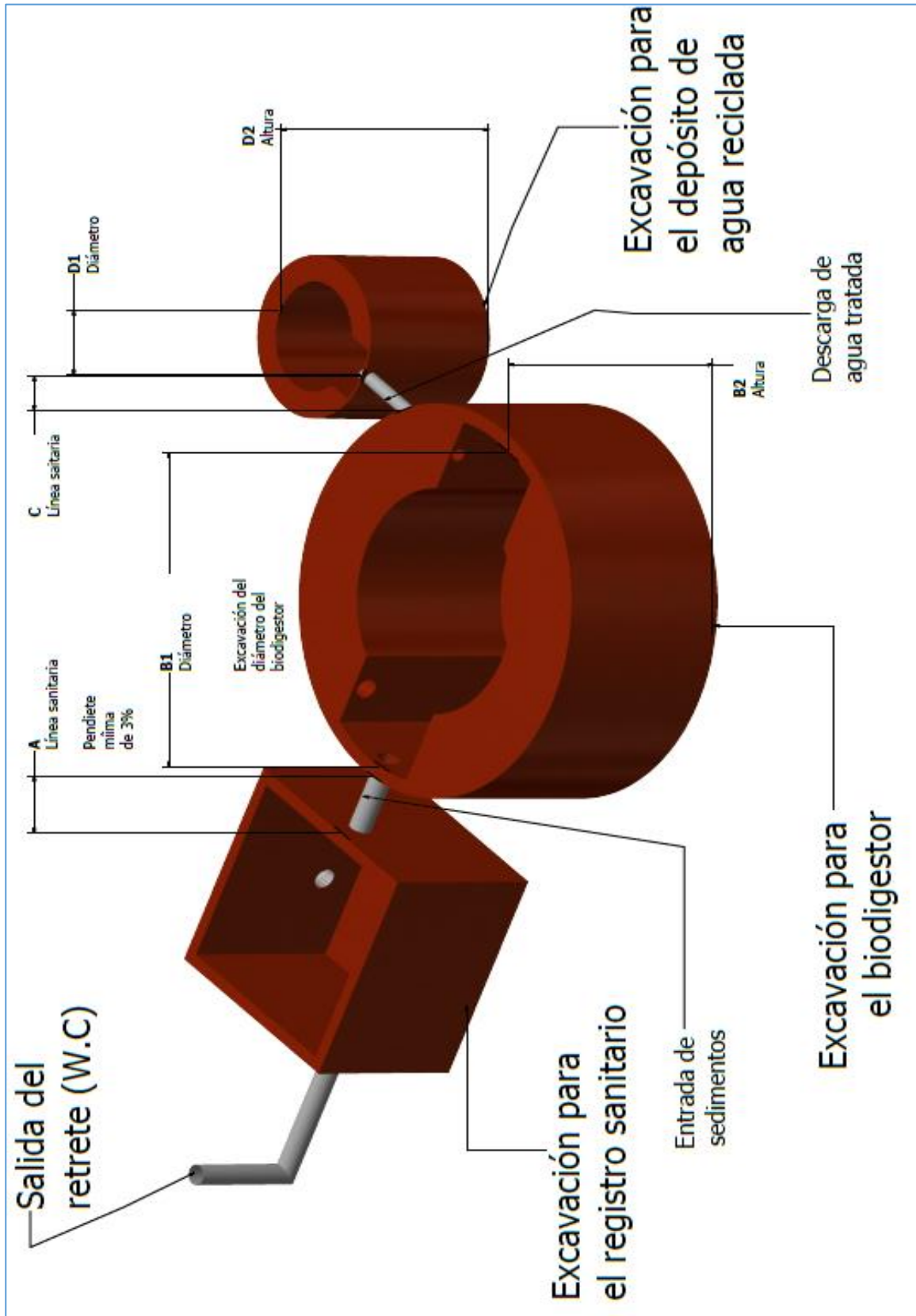


Figura A.29. Dimensiones para la colocación del AutoBioGen. (Elaboración propia)



## **Mantenimiento del AutoBioGen**

**Transcurrido 12 meses de iniciado el funcionamiento del AutoBioGen, se debe realizar los siguientes pasos:**

- Quitar las diferentes tapas del cilindro con capacidad de 300 litros.
- Desazolver el cilindro hasta que el lodo cambie a color amarillo.
- Coloque las diferentes tapas del cilindro.
- Dejar secar los lodos durante dos meses.
- Una vez seco los lodos, retirar las tapas del cilindro y proceda a extraer los lodos.
- Utilizar protección personal para la extracción como guates, botas y cubre bocas.
- Los residuos son utilizados como abono.
- Quitar las tapas del depósito de agua reciclada.
- Quitar la caja removible con orejas y cambiar las bioesferas, zeolita y carbón activo por nuevo producto de los mismos.

## **Recomendaciones**

**Para el funcionamiento correcto del AutoBioGen, se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:**

- Para limpiar el retrete utilizar jabones biodegradables.
- Desinfectar el retrete humedeciendo un trapo o jerga con cloro, nunca verter el cloro directo en el retrete.
- Evitar descargar sustancias desinfectantes tóxicas o limpiadores no biodegradables, ya que reducen la función bacteriológica dentro del AutoBioGen.
- Evitar tirar basura en el retrete, ya que puede obstruir alguno de los conductos.
- Mantener el AutoBioGen bien tapado.
- Reutilizar el agua del depósito para regar plantas, no utilizarla para otras actividades.

## A.15 Composta con el desperdicio de frutas y verduras

### Material

- Bote.
- Caja de plástico.
- Agua (en rociador).
- Tierra.

### Ingredientes para hacer la composta

Residuos de cocina (frutas, vegetales, cascarones de huevos, bolsitas de té, servilletas usadas). Residuos de jardinería (hojas, hierbajos, entre otros).

**Nota:** no usar leche o sus derivados, carne, pescado, estiércol de perros y gatos, debido a la acidez de estos últimos, impiden la germinación y crecimiento de las plantas.

### Pasos para hacer la composta

1. Se pone a secar durante 5 horas un poco el desperdicio de la fruta y verdura.



**Figura A.30.** Desperdicio secándose en un bote de 20 litros. (Elaboración propia)

2. Se hace una pequeña capa de tierra aproximadamente 2 centímetros y se coloca los residuos de cocina (frutas, vegetales, cascarones de huevos, bolsitas de té, servilletas usadas), aproximadamente 5 centímetros.



**Figura A.31.** *Tierra mezclada con cascara de huevo.*  
(Elaboración propia)

3. Agregar 2 centímetros de tierra y humedecer con rociador, después agregar 5 centímetros de residuos de la cocina y así sucesivamente hasta llenar el recipiente capa tras capa.



**Figura A.32.** *Desperdicio secado mezclado con la tierra.*  
(Elaboración propia)

4. Revuelva una vez por semana con una vara de madera.



**Figura A.33.** *Pasos de abono. (Elaboración propia)*

**Nota:** mantener cerrado el recipiente donde se elabora la composta.

La composta estará lista aproximadamente de 2 a 3 meses a partir de la fecha de colecta para su uso, estará terminada cuando no guarde ningún mal olor y parezca tierra de color marrón oscuro o negro y tenga ese particular olor a tierra mojada.

### **Recomendación**


Se recomienda que a la última capa de tierra se le espolvoree cal o ceniza para neutralizar la acidez y su pH sea cercano a 7, así como para absorber malos olores. Se deben evitar comida cocinada, carne y huesos, para mantener la zona libre de roedores u otros animales no deseados y de esta manera se acelera la formación de la composta.

### **Beneficios del uso de la composta**

- Útil para reducir, reutilizar y reciclar los residuos orgánicos.
- Se devuelve material valioso a la naturaleza.
- Ayuda a aumentar la fertilidad del suelo y a mejorar el desarrollo de las plantas.
- Disminuye la utilización de fertilizantes químicos.
- Aumenta la capacidad de los suelos para retener agua y nutrientes, así como prevenir la compactación y erosión del suelo.

- No mata la flora bacteriana del suelo como ocurre con los abonos inorgánicos, de tan amplio uso y venta comercial.

## Curriculum vitae

Información personal	
	Nombre: <b><u>Javier Aguirre Contreras</u></b>
	Fecha de nacimiento: 12 de mayo de 1986 Nacionalidad: Mexicana Estado civil: soltero, sin dependientes económicos Dirección: San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México, Cel.: 045 55 62 52 24 03 email: <a href="mailto:aguirre.contre@gmail.com">aguirre.contre@gmail.com</a>

### Formación académica

#### **Maestría: Diseño Industrial**

Institución: Universidad Autónoma Metropolitana.

Periodo de estudios: Septiembre 2010- Diciembre 2012.

Documentos obtenidos: Certificado y Grado de Maestro.

#### **Especialidad: Diseño Industrial**

Institución: Universidad Autónoma Metropolitana.

Periodo de estudios: Septiembre 2009- Agosto 2010.

Documentos obtenidos: Certificado y Diploma.

#### **Licenciatura: Ingeniería Mecatrónica**

Institución: Universidad del Valle de México.

Periodo de estudios: 2005-2008.

Documentos obtenidos: Certificado de estudios, Título y Cedula Profesional.

### Experiencia laboral

**Profesión o cargo desempeñado:** Diseñador en el departamento de medioambiente.

**Funciones y responsabilidades:** Elaborar proyectos de energía renovable para disminuir el cambio climático.

**Nombre de la empresa:** Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

**Periodo:** 01 de septiembre de 2012-hasta la fecha.

### Habilidades

**Idioma:** Inglés 70%, Toefl 550 puntos.

**Informática:** Conocimiento de paquetería Microsoft Office (nivel avanzado) como en programas de diseño Solidworks (nivel avanzado), AutoCad (nivel avanzado), Inventor (nivel avanzado), Corel Draw (nivel intermedio), Catia (nivel avanzado), Arduino (nivel avanzado), Cura (nivel avanzado), Blender (nivel intermedio).

## **Participaciones**

### **Ponencia en el congreso de Green Urbanism (GU) 2ª edición, Roma, Italia 2018**

Celebrado en la Università Degli Studi, Dipartimento Di Architettura.

Documento obtenido: Constancia.

Nombre del tema: Diseño de un sistema de generación de electricidad por medio de un calentador solar para una casa.

ISBN: 978-3-319-70547-7

ISBN: 978-3-319-70548-4 (libro electrónico)

### **Ponencia en el congreso de Green Urbanism (GU) 2ª edición, Roma, Italia 2018**

Celebrado en la Università Degli Studi, Dipartimento Di Architettura.

Documento obtenido: Constancia.

Nombre del tema: Desarrollo de un medidor de consumo de agua de fuente abierta para viviendas.

ISBN: 978-3-319-70547-7

ISBN: 978-3-319-70548-4 (libro electrónico)

### **Ponencia en la conferencia internacional de Ingeniería Biomédica (BMEICON-2017)**

Celebrado en la Universidad de Hokkaido Japón.

Documento obtenido: Constancia.

Nombre del tema: Diseño de un sistema de aire acondicionado por medio de un biodigestor para una habitación.

ISBN: 978-1-5386-0882-1/17

### **Ponencia en la sexta conferencia nacional sobre investigación sobre el cambio climático (2016)**

Celebrado en la Universidad Autónoma Metropolitana.

Documento obtenido: Constancia.

### **Curso sobre cambio climático (2017)**

Impartido por la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la plataforma educativa México X.

Documento obtenido: Constancia.

### **Asistente del Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica (2017)**

Realizado en el Instituto Tecnológico y de Educación Superior de Monterrey, Campus Nuevo León.

Documento obtenido: Constancia.

### **Curso de escritura para todos (2017)**

Impartido por la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la plataforma educativa México X.

Documento obtenido: Constancia.

**Curso de finanzas para emprendedores (2017)**

Impartido por la Univerisdad Nacional Autonoma de México a través de la plataforma Educativa México X.

Documento obtenido: Constancia.

**Curso de autocad (2017)**

Impartido en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Documento obtenido: Constancia.

**Curso de redacción (2017)**

Impartido en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Documento obtenido: Constancia.

**Curso introductorio D.F 27 misión-México (2016)**

Realizado en el Hotel Fiesta inn Insurgentes

Documento obtenido: Constancia